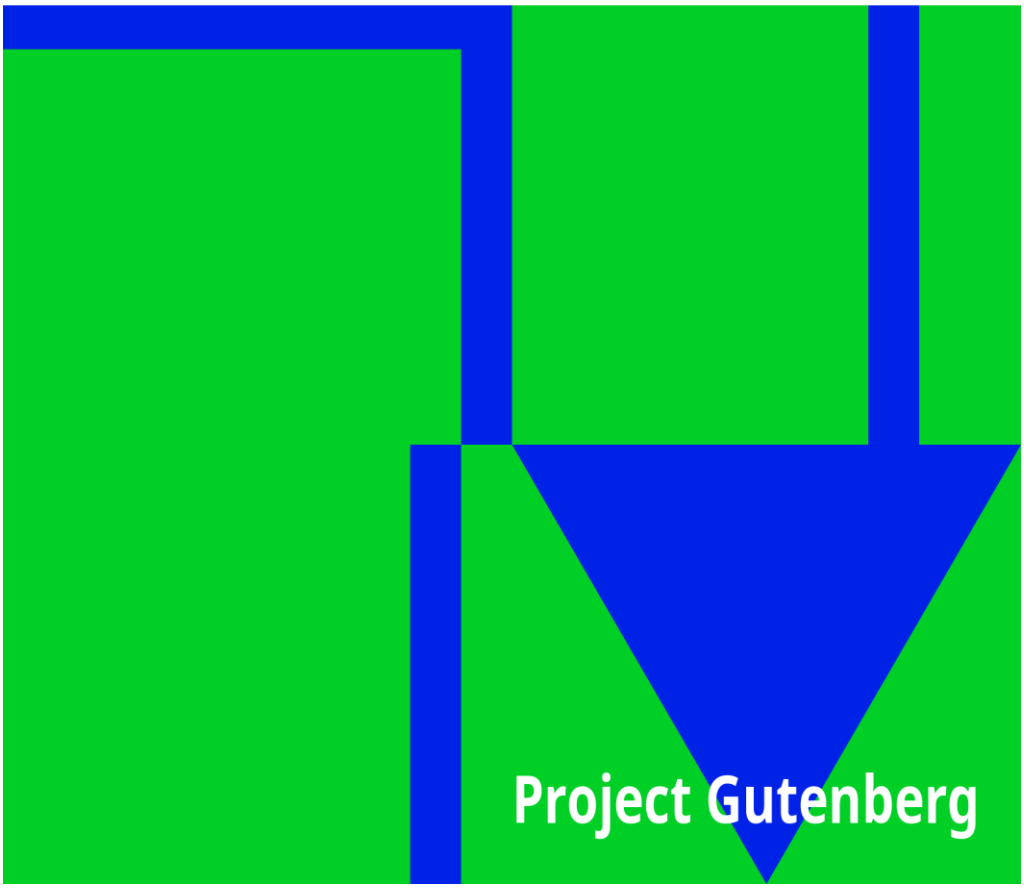
Физика

Уиллис Э. Тауэр, Томас Д. Коуп, Чарльз Х. Смит и Чарльз М. Тертон

Physics

Willis E. Tower et al.



Содержание

ФИЗИКА

ФИЗИКА

- ПРЕДИСЛОВИЕ
- О ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ
- СОДЕРЖАНИЕ
- ГЛАВА I
  - (1) Введение
    - Упражнения
  - (2) Состояния вещества
    - Важные темы
    - Упражнения
  - (3) Метрическая система
    - Важные темы
    - Упражнения
- ГЛАВА II
  - (1) Свидетельства молекулярного движения в газах
    - Важные темы
    - Вопросы
  - (2) Молекулярное движение в жидкостях
    - Важные темы
    - Упражнения
  - (3) Молекулярные силы в жидкостях
    - Важные темы
    - Упражнения
  - (4) Свидетельства молекулярных сил в жидкостях и твердых телах
    - Важные темы
    - Упражнения
  - (5) Свидетельства молекулярных сил в твердых телах
    - Важные темы
    - Упражнения
    - Обзор: Введение и молекулы
- ГЛАВА III
  - (1) Сила тяжести жидкостей

Важные темы
Упражнения
(2) Передача давления жидкости
Важные темы
Упражнения
(3) Принцип Архимеда
Важные темы
Упражнения
(4) Плотность и удельный вес
Важные темы
Упражнения
ГЛАВА IV
(1) Вес и давление воздуха
Важные темы
Упражнения
(2) Сжимаемость и расширяемость воздуха
Важные темы
(3) Пневматические приборы
Важные темы
Упражнения
Обзор: Жидкости и газы
ГЛАВА V
(1) Сила, как ее измеряют и представляют
Важные темы
Упражнения
(2) Движение. Законы движения Ньютона
(A) Виды движения
(B) Направление движения
(C) Равномерность движения
Законы движения Ньютона
Важные темы
Упражнения
(3) Разложение сил
Упражнения.
(4) Момент силы и параллельные силы

Важные темы
Упражнения
(5) Гравитация и сила тяжести
Важные темы
Упражнения
(6) Падающие тела
Важные темы
Упражнения
(7) Маятник
Важные темы
Упражнения
Обзор: Сила и движение
ГЛАВА VI
РАБОТА И ЭНЕРГИЯ
Важные темы
Упражнения
Важные темы
Упражнения
(4) Колесо и ось, а также шкив
Важные темы
Упражнения
(5) Наклонная плоскость. Эффективность
Важные темы
Упражнения
(6) Трение, его применение и законы
Важные темы
Упражнения
(7) Водная энергия
Упражнения
Обзор: Работа и энергия
ГЛАВА VII
(1) Источники и последствия тепла
Важные темы
Упражнения
(2) Температура и расширение

Важные темы
Упражнения
(3) Расширение жидкостей и твердых тел
Важные темы
Упражнения
Важные темы
Упражнения
(5) Передача тепла в жидкостях. Отопление и вентиляция
Важные темы
Упражнения
(6) Влажность в атмосфере, гигрометрия
Важные темы
Упражнения
(7) Испарение
Важные темы
Упражнения
ГЛАВА VIII
(1) Измерение тепла и удельная теплоемкость
Важные темы
Упражнения
(2) Тепло и изменение состояния
Важные темы
Упражнения
(3) Тепло и работа
Важные темы
Упражнения
(4) Тепловые двигатели
Важные темы
Упражнения
Обзор: Тепло
ГЛАВА IX
(1) Общие свойства магнитов
Важные темы
Упражнения
(2) Теория магнетизма и магнитных полей

Важные темы
Упражнения
(3) Магнетизм Земли
Важные темы
Упражнения
ГЛАВА X
(1) Электрификация и электрические заряды
Важные темы
Упражнения
(2) Электрические поля и электростатическая индукция
Важные темы
Упражнения
(3) Электрические теории и распределение зарядов
Важные темы
Упражнения
(4) Потенциал, емкость и электрический конденсатор
Важные темы
Упражнения
(5) Электростатические генераторы
Важные темы
Упражнения
Обзор: Магнетизм и статическое электричество
ГЛАВА XI
(1) Электрические токи и цепи
Важные темы
Упражнения
(2) Вольтаическая батарея и ее действие
Важные темы
Упражнения
(3) Практические вольтаические элементы
Важные темы
Упражнения
ГЛАВА XII
(1) Магнитный эффект электрических токов
Важные темы

Упражнения
(2) Электрические измерения
Важные темы
Упражнения
(3) Закон Ома и электрические цепи
Важные темы
Упражнения
(4) Методы группировки элементов и измерения сопротивления
Важные темы
Упражнения
ГЛАВА XIII
(1) Химическое воздействие электрического тока
Важные темы
Упражнения
(2) Аккумуляторная батарея и электрическая энергия
Важные темы
Упражнения
(3) Тепловое воздействие электрического тока
Важные темы
Упражнения
Обзор: Электрический ток
ГЛАВА XIV
(1) Электромагнитная индукция
Важные темы
Упражнения
(2) Динамо и двигатель
Важные темы
Упражнения
(3) Индукционная катушка и трансформатор
Важные темы
Упражнения
(4) Телефон
Важные темы
Упражнения
Обзор: Индуцированные токи

ГЛАВА XV
(1) Звук и волновое движение
Важные темы
Упражнения
(2) Волны[N] и волновое движение
Важные темы
Упражнения
(3) Интенсивность и высота звуков
Важные темы
Упражнения
(4) Музыкальные гаммы и резонанс
Важные темы
Упражнения
(5) Взаимодействие волн, биения, колебания струн
Важные темы
Упражнения
(6) Качество звука, колебания воздушных столбов, пластины
Важные темы
Упражнения
Обзор: Звук
ГЛАВА XVI
(1) Свет, его прямолинейное распространение, тени
Важные темы
Упражнения
(2) Фотометрия и закон отражения
Важные темы
Упражнения
(3) Зеркала и образование изображений
Важные темы
Упражнения
(4) Преломление света
Важные темы
Упражнения
(5) Формирование изображений с помощью линз
Важные темы

Упражнения
(6) Оптические приборы
Важные темы
Упражнения
(7) Цвет и спектры
Важные темы
Упражнения
(8) Природа света, интерференция, поляризация
Важные темы
Упражнения
Обзор: Свет
ГЛАВА XVII
(1) Электрические волны и радиоактивность
Важные темы
ГЛАВА XVIII
Беспроводная телефония
Переменные токи
Упражнения
Важные темы
УКАЗАТЕЛЬ
СНОСКИ:
ПОЛНАЯ ЛИЦЕНЗИЯ ПРОЕКТА ГУТЕНБЕРГ

Электронная книга Project Gutenberg по физике

Эта электронная книга предназначена для бесплатного использования в любой точке США и большинства других стран мира практически без каких-либо ограничений. Вы можете копировать, передавать или повторно использовать ее в соответствии с условиями лицензии проекта «Гутенберг», включенной в эту электронную книгу или доступной онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы не проживаете в США, перед использованием этой электронной книги вам необходимо ознакомиться с законодательством страны, в которой вы проживаете.

Название: Физика

Автор: Уиллис Э. Тауэр

Томас Д. Коуп

Чарльз Х. Смит

Чарльз М. Тертон

Дата выпуска: 9 июля 2012 г. [электронная книга № 40175] Последнее обновление: 23 октября 2024 г.

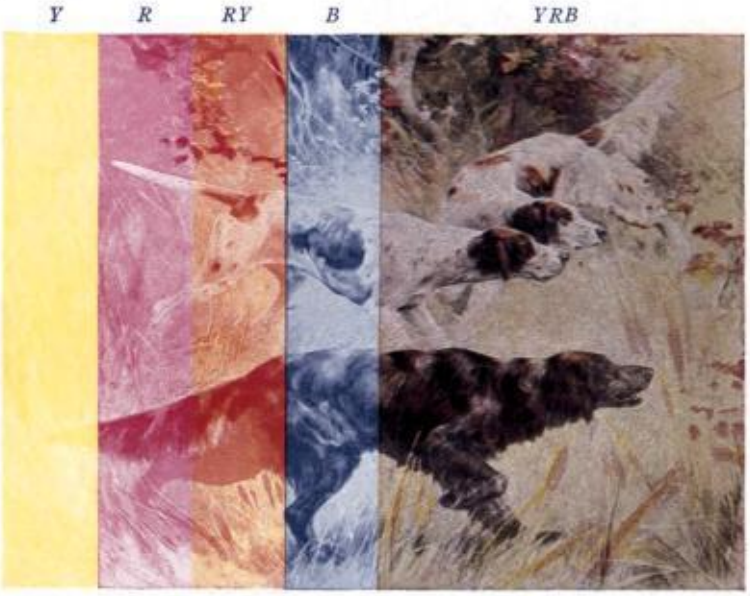
Язык: английский

Благодарности: Произведено Анной Холл, Альбертом Ласло и командой онлайн-корректоров http://www.pgdp.net (Этот файл был создан на основе изображений, любезно предоставленных The Internet Archive)

*** НАЧАЛО ЭЛЕКТРОННОЙ КНИГИ ПРОЕКТА ГУТЕНБЕРГ ПО ФИЗИКЕ ***

ФИЗИКА

ТАУЭР, СМИТ, ТУРТОН и КОУП



(*See p.441*)

THREE-COLOR PRINTING

Y. Yellow impression; negative made through a blue-violet filter. *R*. Crimson impression; negative made through a green filter. *RY*. Crimson on yellow. *B*. Blue impression; negative made through a red filter. *YRB*. Yellow, crimson, and blue combined; the final product. (Courtesy of Phototype Engraving Co., Philadelphia.)

(*См. стр. 441*)

ТРЕХЦВЕТНАЯ ПЕЧАТЬ

Y. Желтый отпечаток; негатив, сделанный через сине-фиолетовый фильтр. R. Багровый отпечаток; негатив, сделанный через зеленый фильтр. *RY.* Багровый на желтом. B. Синий отпечаток; негатив, сделанный через красный фильтр. *YRB.* Желтый, багровый и синий в сочетании; конечный продукт. (Предоставлено Phototype Engraving Co., Филадельфия.)

ФИЗИКА

УИЛЛИС Э. ТАУЭР, М. С. (Университет Иллинойса)
РУКОВОДИТЕЛЬ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ, ENGLEWOOD
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ, ЧИКАГО

ЧАРЛЬЗ Х. СМИТ, М. Э. (Корнелл)
РУКОВОДИТЕЛЬ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ И ЗАМЕСТИТЕЛЬ
ДИРЕКТОРА, ШКОЛА ХАЙД-ПАРК, ЧИКАГО

ЧАРЛЬЗ М. ТУРТОН, А. М. (Сиракузы)
РУКОВОДИТЕЛЬ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ, СРЕДНЯЯ ШКОЛА БОВЕН
В ЧИКАГО

В СОТРУДНИЧЕСТВЕ С

ТОМАСОМ Д. КОПОМ, ДОКТОРОМ ФИЛОСОФИИ (Пенсильвания)
АССИСТЕНТ ПРОФЕССОРА ФИЗИКИ, УНИВЕРСИТЕТ
ПЕНСИЛЬВАНИИ

НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ФИЗИКИ ТАУЭРА, СМИТА И ТУРТОНА

С 7 ИЛЛЮСТРАЦИЯМИ И 448 ДРУГИМИ ИЛЛЮСТРАЦИЯМИ

ФИЛАДЕЛЬФИЯ
П. БЛЭКИСТОН СЫН И КОМПАНИЯ
1012 УЛИЦА УОЛНУТ

АВТОРСКИЕ ПРАВА, 1920, P. BLAKISTON'S SON & CO.

ПРЕДИСЛОВИЕ

При подготовке этого текста постоянно учитывались опыт, потребности и интересы *учащихся*. Порядок тем, иллюстраций и задач был выбран с целью помочь *учащимся* четко понять физические явления, постоянно происходящие вокруг них.

Рекомендации и выводы, сделанные в рамках «Нового движения в преподавании физики», были включены в книгу в целом. Эти выводы указывают на то, что наиболее эффективное преподавание физики предполагает отход от количественных, математических методов представления, которые были широко распространены десять и более лет назад, в сторону метода, более адаптированного к способностям, интересам и потребностям молодых людей в наших классах по физике.

Старые методы эффективны для части учащихся, которые обладают большими математическими способностями и подготовкой, но они отталкивают большинство учеников, которые не одарены или не готовы к серьезному математическому анализу. По этой причине многие из более сложных математических доказательств, часто приводимых в учебниках по физике, опущены. Большинство задач связано только с единицами измерения, используемыми в повседневной практике.

Те части механики, которые обычно являются столь сложными для среднего ученика, не изучаются до тех пор, пока он не освоит значительный объем материала, с которым он более или менее знаком, и пока он не привыкнет к методам изучения и техническим терминам предмета.

Ученик приступает к изучению физики, имея большой опыт и впечатления от физических явлений, постоянно происходящих вокруг него. Признавая этот факт, было решено, что лучше всего сначала рассмотреть объяснение общеизвестных всем ученикам явлений, таких как диффузия газов, испарение жидкостей, расширение тел при нагревании и капиллярное действие. Поскольку молекулярная теория вещества в настоящее время подкреплена множеством убедительных доказательств, мы без колебаний решили свободно использовать ее в первых главах. Применение этой теории чрезвычайно полезно для объяснения повседневных явлений. Наш опыт показывает, что начинающие физики без труда понимают и применяют эту теорию.

Иллюстрации и рисунки были выбраны скорее с педагогической, чем с визуальной точки зрения. Практически все они являются новыми. Задачи и упражнения были выбраны с явной целью проиллюстрировать принципы, изложенные в тексте, и их практическое применение.

Приводится много прямых приложений к обычным повседневным явлениям, чтобы связать предмет с домашней обстановкой и ежедневным наблюдением физических явлений. Некоторые явления упоминаются без подробного объяснения, поскольку считается, что представление этих тем таким образом лучше подходит для учащихся этого класса, чем полный анализ.

Некоторые особенности текста можно кратко резюмировать следующим образом:

(A) Акцент делается на *простоте изложения*. Методы изложения, иллюстрации и примеры, используемые при разработке тем, особенно подходят для начинающих в физике.

(B) Текст разделен на *семьдесят семь разделов*, каждый из которых содержит материал, достаточный для одного занятия.

(C) Каждый из этих разделов завершается списком *важных тем*, которые указывают ученику на принципы и предметы, требующие наиболее тщательного внимания. Списки важных тем также помогают учителю при назначении заданий для повторения.

(D) *Задачи и практические упражнения* акцентируют внимание на физических принципах, в отличие от математической подготовки. Список упражнений приведен в конце нескольких разделов. Их количество достаточно для проведения тестирования по многим вопросам и выбора задач учителями.

Авторы выражают свою признательность за предложения и полезную критику многим, кто прочитал текст в рукописи или в корректуре. Особая благодарность профессору А. П. Карману из Университета Иллинойса и его коллеге, профессору Ф. Р. Уотсону, которые тщательно прочитали весь текст; а также г-ну Чарльзу М. Брансону из средней школы Скотт в Толедо, штат Огайо, г-ну Фрэнку Э. Гуделлу из средней школы Норт в Де-Мойне, штат Айова, и г-ну Уолтеру Р. Аренсу из средней школы Энглвуд в Чикаго за помощь в чтении корректур. Также г-ну У. Х. Коллинзу-младшему из средней школы Боуэн в Чикаго, который курировал подготовку чертежей для диаграмм и рисунков, а также многим фирмам и частным лицам, которые любезно предоставили материалы для иллюстраций.

Уиллис Э. Тауэр.
Чарльз Х. Смит.
Чарльз М. Тертон.

О ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ

Когда ученик начинает изучать физику, он уже обладает многими знаниями, которые являются фундаментальными в этой науке. Он научился бросать мяч и может сказать, как

движется брошенный мяч. Он вытаскивал гвозди с помощью молотка. Он видел, как дерево плавает, а железо тонет. Он всасывал жидкости через соломинки. На кухне своей матери он видит воду в виде льда, жидкости и пара. В зимний день он считывает температуру на термометре. Он видит, как искры летят из колес автомобиля при торможении. Он играл с подковообразным магнитом и находил север с помощью компаса. Он видит и, возможно, использует телефон, электрический свет и мотор много раз в день. Он одевается перед зеркалом, фокусирует свою камеру, смотрит изображения в кинотеатре и любуется цветами радуги. Он бросал камни в воду, чтобы посмотреть, как распространяются круги, кричал, чтобы услышать эхо, и, возможно, играет на каком-нибудь музыкальном инструменте. Все это и тысячи других вещей известны умному и нормальному мальчику или девочке, достигшим возраста, когда можно начинать изучать физику.

В значительной степени даже термины, используемые в науке, знакомы новичку. Он говорит о лошадиных силах двигателя, считывает киловатт-часы со счетчика в подвале и, возможно, знает, что осветительный газ стоит один доллар за тысячу «кубических футов». «Ампер» и «вольт» — слова, которые он часто слышит и видит.

Когда он приступает к изучению физики, отношение студента к этим знакомым вещам и словам должно измениться. Случайная информация о них должна быть заменена на глубокие знания, специально приобретенные. Неясные представления о значении слов должны быть заменены точными определениями. Фрагменты знаний должны быть объединены в структуру, в которой каждый факт находит свое место по отношению к другим.

Единственным агентом, который может осуществить эти изменения, является сам студент. Он должен сознательно и целенаправленно искать истину и размышлять над ней, пока не увидит ее в связи с другими истинами. На нем, и только на нем, лежит окончательная ответственность за успех или неудачу его обучения.

Но студент не остается без помощи. В лице своего учителя он находит наставника, который стимулирует, направляет и помогает ему в его усилиях, а также критика, который указывает, в чем его усилия потерпели неудачу, а в чем увенчались успехом. Ему предоставляются весы, меры и другие приборы, чтобы он мог самостоятельно ответить на вопросы, возникшие в ходе обучения.

В дополнение к этому у студента есть учебник и учитель для занятий в свободное время. Хороший учебник — это вдохновляющий учитель в печатном виде. Он направляет внимание на вещи, знакомые студенту благодаря многолетнему опыту, и вдохновляет его на более тщательное их изучение. Он приглашает его наблюдать, анализировать, сравнивать, обнаруживать сходства и различия в поведении. Он задает ему вопросы на каждом шагу. Его постоянно повторяющийся вызов звучит так: «Взвесь и обдумай». Он предоставляет ему необходимую информацию, которую он не может получить иным способом. Он удовлетворяет его желание узнать: «Кем, где, когда и как это было впервые открыто?».

Студент, изучающий физику, никогда не должен забывать, что он изучает не страницы текста, а поведение и свойства железа, воды, слюды, движущихся шаров, насосов, кипящих жидкостей, сжатого воздуха, зеркал, паровых двигателей, магнитов, динамо-машин, скрипок, флейт и множества других вещей. Его исследования должны, по возможности, проводиться непосредственно на самих предметах. Текст является вспомогательным средством для изучения, но никогда не заменяет изучаемый предмет.

Каждому студенту рекомендуется выбрать для особого изучения какой-либо предмет, например, телефон. Путем наблюдений, экспериментов и чтения он может получить

большой объем ценной информации по данному предмету, одновременно проходя курс физики. Каждая часть науки будет иметь к этому какое-то отношение.

Студент, который приступит к изучению физики предложенным способом, по окончании года обучения обнаружит, что обладает множеством новых и ценных знаний о физическом мире, в котором он живет. Благодаря этим знаниям он сможет лучше наслаждаться миром, контролировать его и использовать его.

Томас Д. Коуп.

Филадельфия.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава I. Введение и измерения. Страница

(1) Введение 1

(2) Состояния вещества 4

(3) Метрическая система 8

Глава II. Молекулярные силы и движения.

(1) Молекулярные движения в газах 13

(2) Молекулярные движения в жидкостях 18

(3) Молекулярные силы в жидкостях 21

(4) Молекулярные силы в жидкостях и твердых телах 27

(5) Молекулярные силы в твердых телах 31

Глава III. Механика жидкостей.

(1) Давление жидкости 36

(2) Передача давления жидкости 41

(3) Принцип Архимеда 47

(4) Плотность и удельный вес 52

Глава IV. Механика газов.

(1) Вес и давление воздуха 55

(2) Сжимаемость и расширяемость воздуха 62

(3) Пневматические приборы 66

Глава V. Сила и движение.

(1) Сила, как она измеряется и представляется 79

(2) Движение. Законы Ньютона 85

(3) Разложение сил 96
(4) Момент силы и параллельные силы 99
(5) Гравитация и сила тяжести 103
(6) Падающие тела 109
(7) Маятник 115
Глава VI. Работа и энергия.
(1) Работа и энергия 119
(2) Мощность и энергия 123
(3) Рычаг и простые механизмы 129
(4) Колесо, ось и шкив 136
(5) Эффективность и наклонная плоскость 142
(6) Трение и его применение 147
(7) Водная энергия 152
Глава VII. Тепло, его производство и передача.
(1) Источники и последствия тепла 159
(2) Температура и расширение 162
(3) Расширение газов, жидкостей и твердых тел 167
(4) Способы передачи тепла 173
(5) Конвекция, отопление и вентиляция 179
(6) Влажность воздуха, гигрометрия 191
(7) Испарение 196
Глава VIII. Тепло и работа.
(1) Измерение тепла и удельная теплоемкость 200
(2) Тепло и изменения состояния 205
(3) Тепло и работа 212
(4) Тепловые двигатели 222
Глава IX. Магнетизм.
(1) Общие свойства магнитов 228
(2) Теория магнетизма, магнитные поля 232
(3) Магнетизм Земли 238
Глава XI. Статическое электричество.
(1) Электрификация и электрические заряды 243
(2) Электрические поля и электростатическая индукция 247
(3) Электрические теории, распределение и электрические заряды 252
(4) Потенциал, емкость и электрический конденсатор 257

(5) Электростатические генераторы 262

Глава XI. Электрические токи, производимые гальваническими элементами.

(1) Электрические токи и цепи 267

(2) Простая гальваническая ячейка и ее действие 270

(3) Практические гальванические элементы 274

Глава XII. Магнитные эффекты электрических токов и электрические измерения.

(1) Магнитное воздействие электрических токов 279

(2) Электрические измерения 289

(3) Закон Ома и электрические цепи 298

(4) Группировка элементов и измерение сопротивления 302

Глава XIII. Химические и тепловые эффекты электрических токов.

(1) Химическое воздействие электрического тока 307

(2) Аккумуляторная батарея и электрическая энергия 312

(3) Тепловое воздействие электрического тока 318

Глава XIV. Наведенные токи.

(1) Электромагнитная индукция 326

(2) Динамо и двигатель 335

(3) Индукционная катушка и трансформатор 343

(4) Телефон 349

Глава XV. Звук.

(1) Звук, источник, скорость, среда 354

(2) Волны и волновое движение 357

(3) Интенсивность и высота звука 363

(4) Музыкальные гаммы и резонанс 368

(5) Интерференция, биения, колебания струн 374

(6) Качество тона, вибрирующие пластины и воздушные столбы 384

Глава XVI. Свет.

(1) Прямолинейное распространение света 388

(2) Фотометрия и закон отражения 393

(3) Зеркала и образование изображений 400

(4) Преломление света 410

(5) Образование изображений с помощью линз 416

(6) Оптические приборы 423

(7) Цвет и спектры 430

(8) Природа света 442

Глава XVII. Невидимые излучения.

(1) Электрические волны и радиоактивность 448

Глава XVIII. Беспроводная телефония и переменный ток.

(1) Беспроводная телефония 460

(2) Переменные токи 466

Указатель 487

ФИЗИКА

ГЛАВА I

ВВЕДЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЯ

(1) Введение

1. Физика, объяснение обычных вещей. Многие студенты приступают к изучению физики, ожидая увидеть удивительные эксперименты с рентгеновскими лучами, беспроводной телеграфией, динамо-машинами и другими интересными устройствами. Другие боятся приступить к изучению предмета, который кажется им странным и сложным, потому что опасаются, что он связан с идеями и принципами, которые выходят за рамки их опыта и трудны для понимания.

Каждая из этих групп удивляется, узнав, что *физика — это в основном объяснение обычных вещей*. Это наука, которая систематизирует наши знания о силах и изменениях, происходящих вокруг нас, таких как притяжение Земли, образование росы, дождя и инея, давление воды и насосы, эхо и музыка, термометры и двигатели, а также многие другие вещи, с которыми люди более или менее знакомы. Физика, как и другие школьные предметы, такие как математика и язык, имеет свой собственный специфический словарный запас и методы изучения; они будут осваиваться по мере продвижения по курсу.

Самая полезная привычка, которую может выработать студент, изучающий физику , — это связывать или соотносить каждую *новую идею* или *факт*, которые ему представляются, с *каким-либо наблюдением* или *опытом*, которые иллюстрируют новую идею. Связывание или сопоставление новых идей с личным опытом является не только одним из самых известных способов развития памяти и ассоциативных способностей, но и особенно полезно в таком предмете, как физика, который занимается систематическим изучением и объяснением фактов нашего повседневного опыта.

2. Знание — общее и научное. — Это приводит к различию между *общим знанием и научным знанием*. Мы все обладаем общим знанием о вещах, которые нас окружают, полученным из впечатлений, полученных нашими чувствами, из чтения и из замечаний других людей. *Научное* знание достигается, когда фрагменты общего знания связываются и объясняются другой информацией, полученной в результате изучения или опыта. То есть общее знание становится научным, когда оно *организовано*. Это приводит к определению: *наука — это организованное знание*.

Общие знания о силах и объектах, которые нас окружают, становятся научными только тогда, когда мы способны проводить их точные измерения. То есть наука занимается не только *тем*, *как* вещи работают, но еще больше тем*, сколько* задействовано или получается в результате той или иной деятельности. Например, научный фермер должен уметь рассчитывать свои затраты и результаты, чтобы точно определять свою чистую прибыль. Бизнесмен, который эффективно ведет свой бизнес, точно знает свои затраты на производство и дистрибуцию.

Эта книга написана в надежде, что она сделает более научным общее представление учащегося о силах и изменениях в окружающем его мире и даст ему много идей и принципов, которые помогут ему приобрести привычку смотреть от следствий к их естественным причинам и таким образом, развивать то, что называется *научной привычкой мышления*.

3. Гипотеза, теория и закон. Здесь можно упомянуть три слова, которые часто используются в науке: *гипотеза*, *теория* и *закон*. Гипотеза — это предположение, выдвинутое для объяснения какого-либо наблюдаемого эффекта, изменения или условия. Например, туманная гипотеза, о которой слышали многие старшеклассники, является попыткой объяснить происхождение Солнца, Земли, планет и других солнечных систем.

Теория — это гипотеза, которая была проверена различными способами и, по-видимому, соответствует условиям и результатам, так что она общепризнана как дающая удовлетворительное объяснение рассматриваемого вопроса. Молекулярная теория вещества, которая гласит, что все виды вещества состоят из очень маленьких частиц, называемых молекулами (см. ст. 6), является известным примером теории.

Теория становится законом, когда она может быть окончательно доказана. Многие законы выражаются математическим языком, например, закон всемирного тяготения. (См. ст. 88.) Многие законы физики иллюстрируются лабораторными экспериментами, которые простым способом показывают, что означает данный закон.

Упражнения

Объясните значение следующих терминов и выражений:

1. Общеизвестные факты.
2. Научные знания.
3. Наука.
4. Темы по физике.
5. Научный стиль мышления.
6. Ценность соотнесения новых идей с предыдущим опытом.
7. Гипотеза.
8. Теория.
9. Закон.

(2) Состояния вещества

4. Определение физики. При изучении любой науки или области знаний полезно иметь основу для группировки или классификации изучаемых фактов. В физике мы изучаем объекты, силы и изменения, происходящие вокруг нас, чтобы понять их и их взаимосвязи. Соответственно, физика, занимающаяся изучением материального мира вокруг нас, часто определяется как *наука о материи и энергии,* где *материя* — это *все, что занимает пространство*, а *энергия — способность выполнять работу.* Это определение физики, хотя и не является строго точным, достаточно полно для наших целей.

5. Три состояния материи. Наши тела являются *материей*, поскольку занимают пространство. Кроме того, они обладают *энергией*, поскольку способны выполнять работу. Приступая к изучению физики, мы упростим себе задачу, если сначала изучим одну из этих тем, а потом другую. Поэтому мы начнем с материи и сначала рассмотрим ее три состояния.

Некоторые тела являются *твердыми*, например лед, железо, воск. Другие — *жидкими*, например вода, ртуть, масло. Третьи находятся в *газообразном* состоянии, например пар,

воздух и светильный газ. Кроме того, мы замечаем, что одно и то же вещество может находиться в любом из этих трех состояний. Например, вода может быть льдом, водой или паром, то есть твердым телом, жидкостью или газом.

Большинство людей слышали о *жидком воздухе*, а некоторые, возможно, знают о *ледяном воздухе*, *то есть* воздухе, охлажденном до такой степени, что он не только превращается в жидкость, но и затвердевает. С другой стороны, железо может быть расплавлено, а при достаточно сильном нагревании может превратиться в железный пар. Фактически, большинство веществ при достаточном нагревании или охлаждении могут быть преобразованы в любое из трех состояний.

Прежде чем дать определение трем состояниям, рассмотрим *структуру* вещества. Это может помочь нам ответить на вопрос: как возможно превратить твердое вещество, такое как лед, в жидкость, воду, а затем в невидимый газ, такой как пар? Это объясняется молекулярной теорией вещества.

6. Молекулярная теория вещества. Считается, что все тела состоят из очень маленьких частиц, называемых *молекулами*, и что эти молекулы, вместо того чтобы быть плотно упакованными, как квадратные пакеты в коробке, находятся, как ни странно, в очень рыхлой упаковке даже в твердых телах и не соприкасаются *постоянно* со своими соседями. Размер этих молекул настолько мал, что, по оценкам, если бы каплю воды можно было увеличить до размеров Земли, то молекулы, увеличенные в той же пропорции, были бы размером между бейсбольным мячом и футбольным мячом. Считается, что воздух и все другие газы состоят из молекул, которые находятся в *быстром движении,* постоянно сталкиваясь и отскакивая друг от друга и от любых предметов, соприкасающихся с газом.

7. Определение состояний вещества. Эти представления о структуре вещества помогают нам понять следующие определения: *Твердое тело — это состояние вещества, в котором молекулы сильно сцеплены друг с другом и стремятся сохранять одинаковые относительные положения*. (Это, конечно, следует из тенденции твердого тела сохранять определенную форму). *Жидкость — это состояние вещества, в котором молекулы стремятся прилипать друг к другу, но при этом свободно перемещаются.* Поэтому жидкость принимает форму любого сосуда, в который ее помещают. *Газ — это состояние вещества, в котором молекулы свободно перемещаются и стремятся бесконечно расходиться.* Поэтому газ заполняет любое пространство, в которое его помещают.

8. Влияние тепла на вещество. — Кроме того, считается, что при нагревании тела его молекулы начинают двигаться или вибрировать все быстрее и быстрее по мере увеличения температуры. Это увеличение движения приводит к тому, что молекулы отталкиваются друг от друга, и это разделение молекул вызывает расширение тела, будь то твердое, жидкое или газообразное. На рис. 1 показано расширение воздуха в воздушном термометре. На рис. 2 показано расширение твердого тела при нагревании.

FIG. 1.—When the bulb is heated, the air within expands forcing down the water in the tube.

РИС. 1. — Когда колба нагревается, воздух внутри расширяется, вытесняя воду в трубке.

9. Физические и химические изменения. Изменение состояния, такое как замерзание или кипение воды, называется *физическим* изменением, поскольку это изменение не повлияло на идентичность вещества. Это по-прежнему вода, даже если она стала твердой или газообразной. Нагревание платиновой проволоки до красного каления также является физическим изменением, поскольку при охлаждении проволока оказывается тем же веществом, что и раньше. Кроме того, если соль или сахар растворяются в воде, процесс *растворения* также является физическим изменением, поскольку в растворе находится то же вещество (соль или сахар), которое можно получить путем выпаривания воды.

(*a*) (*b*)

FIG. 2 (*a*) represents a straight bar made of a strip of brass and a strip of iron riveted together and attached to a handle. Upon heating the compound bar in a gas flame, the brass expands faster than the iron causing the bar to bend toward the latter as in Fig. 2 (*b*).

НА РИС. 2 (*а*) изображен прямой стержень, состоящий из полоски латуни и полоски железа, скрепленных между собой заклепками и прикрепленных к ручке. При нагревании составного стержня в газовом пламени латунь расширяется быстрее, чем железо, в результате чего стержень изгибается в сторону железа, как показано на рис. 2 (*б*).

Однако если сильно нагреть сахар, например в пробирке, он почернеет, часть воды испарится, и после охлаждения *в пробирке вместо сахара окажется черный уголь*. Это действие, приведшее к *изменению природы* обрабатываемого *вещества*, называется *химическим* изменением. Для дальнейшей иллюстрации: если сильно нагреть магниевую проволоку в пламени, она сгорает, испуская яркий свет, а при остывании превращается в легкое порошкообразное вещество, похожее на пепел. Химические изменения, или изменения, которые изменяют природу вещества, изучаются в *химии.* В *физике* мы имеем дело только с физическими изменениями, то есть с теми изменениями, которые не влияют на природу вещества.

Важные темы

1. Определение физики.

2. Три состояния вещества: твердое, жидкое, газообразное.

3. Молекулярная теория вещества.

4. Физические и химические изменения.

Упражнения

Изложите своими словами свое понимание следующих понятий:

1. Структура вещества.

2. Некоторых различий между твердыми телами, жидкостями и газами.

3. Как превратить твердые тела в жидкости и газы и *наоборот*.

4. Причины изменения размера тела при нагревании.

5. Почему охлаждение газа приводит к его превращению в жидкость или твердое тело.

6. Фактический размер молекул.

Какие из следующих изменений являются химическими, а какие — физическими?

Приведите обоснование.

1. Таяние льда.

2. Горение свечи.

3. Образование пара.

4. Падение груза.

5. Сушка одежды.

6. Изготовление чугунного изделия.

7. Гниение овощей.

8. Прорастание семян.

9. Полет самолета.

10. Рост растения.

11. Измельчение зерна.

12. Распиловка доски.

13. Измельчение камня.

14. Приготовление тостов.

15. Подслащивание чая или кофе сахаром.

16. Сжигание древесины или газа.

(3) Метрическая система

10. Метрическая система. — Для того чтобы изучать три состояния вещества с достаточной точностью, необходимо использовать систему измерения. Система,

повсеместно используемая учеными, называется *метрической системой*. Во многих отношениях она является наиболее удобной для всех целей. Поэтому каждый студент должен ознакомиться с ней и научиться ее использовать. В настоящее время ее используют не только ученые во всем мире, но и многие страны, которые приняли ее и используют в повседневных измерениях. В 1866 году она была узаконена в Соединенных Штатах. Метрическая система была создана Французской академией наук в конце XVIII века. В то время существовало так много различных систем мер и весов, каждая страна имела свою собственную систему, что это значительно затрудняло торговлю. Поэтому было решено создать систему, основанную на научных принципах. Длина квадранта Земли, проходящего от экватора до полюса, была определена с помощью измерений и вычислений. Одна десятимиллионная часть этого расстояния была выбрана в качестве единицы длины и названа *метром.* Были изготовлены точные копии этого метра, которые хранились в качестве эталонов.

Позднее исследования показали, что первоначальное определение земного квадранта не было абсолютно точным, так что в конечном итоге метр не является точно одной десятимиллионной частью земного квадранта.

11. Стандартный метр. — Стандартной единицей *длины* в метрической системе является *метр*. Это расстояние при температуре плавления льда между двумя поперечными параллельными линиями, нанесенными на платиновую планку (см. рис. 3), которая хранится в Дворце архивов в Париже ( ). Точные копии этого и других метрических стандартов также хранятся в Бюро стандартов в Вашингтоне, округ Колумбия. На рис. 4 показано соотношение между дюймом и сантиметром (одна сотая метра).

12. Единицы и таблицы в метрической системе. — Метрическая единица *площади,* обычно используемая в физике, — *квадратный сантиметр*.

Fig. 3.—The standard meter.

Рис. 3 — Стандартный метр.

Стандартной единицей измерения *объема* или вместимости является *литр*. Это куб со стороной 0,1 метра. Он равен 1,057 кварты. Таким образом, он соответствует кварте в английской системе мер.

Fig. 4.—Centimeter and inch scales.

Рис. 4 — Скалы в сантиметрах и дюймах.

Стандартной единицей *массы* является *килограмм*. Это масса 1 литра чистой воды при температуре ее наибольшей плотности, 4 °C или 39,2 °F.

Три основные единицы метрической системы — *метр*, *литр* и *килограмм* — простым образом связаны друг с другом, поскольку литр представляет собой куб со стороной в одну десятую метра, а килограмм — это масса одного литра воды. (См. рис. 5.)

Метрическая система — это *десятичная* система, то есть одна единица связана с другой единицей в соотношении *десять* или некоторая степень десяти. Это показано в следующих таблицах:

Метрическая таблица длин

10 миллиметров (мм)	равно 1 сантиметру.
10 сантиметров (см)	равно 1 дециметру.
10 дециметров (дм)	равно 1 метру.
10 метров (м)	равно 1 декаметру.
10 декаметров (Дм.)	равно 1 гектометру.
10 гектометров (гм.)	равно 1 километру.
10 километров (км)	равно 1 мириаметру.

Обычно используются *сантиметр*, *метр* и *километр*.

Метрическая таблица масс (*или веса*)

10 миллиграммов (мг)	равно 1 центиграмму.
10 центиграммов (cg.)	равно 1 дециграмму.
10 дециграммов (dg.)	равно 1 грамму.
10 граммов (г.)	равно 1 декаграмму.
10 декаграммов (Dg.)	равно 1 гектограмму.
10 гектограмм (гг.)	равно 1 килограмму.
10 килограммов (кг)	равно 1 мириаграму.

Обычно используются *миллиграммы*, *граммы* и *килограммы*.

Обратите внимание на сходство в этих таблицах с 10 милли, равными 1 центу, 10 центами, равными 1 дайму, 10 даймам, равными 1 доллару, в таблице денежных единиц США.

Другие таблицы в метрической системе построены по тому же принципу. Выучите префиксы в следующем порядке: милли, центи, деци, дека, гекто, кило, мирия. Первые три префикса являются латинскими цифрами и обозначают деления единицы. Последние четыре являются греческими цифрами и обозначают кратные. В этих таблицах милли

означает 1/1000, центи означает 1/100, деци означает 1/10, дека означает 10, гекто означает 100, кило означает 1000, мирия означает 10 000. Иногда используются два других префикса: *«микро»*, означающий 1/1 000 000, как в «микрофарад» или «микровольт», и *«мега»*, означающий 1 000 000, как в «мегаом», означающий 1 000 000 ом.

13. Преимущества метрической системы. *Во-первых*, это десятичная система; *во-вторых*, во всех таблицах используются одинаковые формы и приставки; *в-третьих*, стандарты длины (метр), объема (литр) и массы (килограмм) находятся в простом соотношении друг к другу. Это простое соотношение между тремя стандартными единицами можно выразить следующим образом: *во-первых,* литр равен кубическому дециметру, а *во-вторых,* килограмм равен массе одного литра воды. (См. рис. 5) Поскольку литр равен кубическому дециметру, длина одной стороны составляет 10 см. Таким образом, литр вмещает 1000 кубических сантиметров (10 × 10 × 10). Следовательно, 1 литр = 1 куб. дм = 1000 куб. см, а поскольку 1 литр воды имеет массу 1 кг или 1000 г, то 1000 куб. см воды имеют массу 1000 г, или 1 *куб. см воды имеет массу 1 г.*

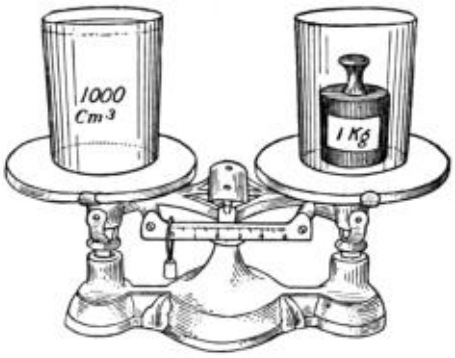


FIG. 5.—One liter of the water has a mass of one kilogram.

Рис. 5. — Один литр воды имеет массу один килограмм.

В следующей таблице эквивалентов приведены соотношения между наиболее распространенными английскими и метрическими единицами. Те, которые отмечены (*), следует запомнить.

(*) 1 метр	= 39,37 дюйма.	1 куб. дюйм	= 16,387 см^3.
(*) 1 дюйм	= 2,54 см.	1 куб. фут	= 28315 см.
1 фут	= 30,48 см.	1 куб. м	= 1,308 куб. ярда
1 миля	= 1,609 км.	(*) 1 литр	= 1,057 кварта
1 кв. дюйм	= 6,45 кв. см.	(*) 1 кг	= 2,204 фунта
1 кв. см	= 0,155 кв. дюйма	1 г	= 15,44 грана.
1 кв. м	= 1,196 кв. ярда	1 фунт	= 0,4536 кг.
1 акр	= 0,405 га.	1 унция	= 28,35 г.
1 гектар	= 2,45 акра.	1 г	= 0,0353 унции.

Система С.Г.С. Ученые разработали план выражения любых измерений в терминах так называемых *трех фундаментальных единиц длины* ( ), *массы* и *времени*. Используемые единицы измерения — *сантиметр*, *грамм* и *секунда*. Когда измерение приводится к эквиваленту в этих единицах, говорят, что оно выражено в единицах *С.Г.С.*

Важные темы

1. Метрическая система; как она возникла.
2. Единицы измерения: метр, литр, килограмм.
3. Метрические таблицы.
4. Преимущества метрической системы.
5. Эквиваленты.
6. Система С.Г.С.

Упражнения

1. Что дешевле: молоко по 8 центов за кварту или по 8 центов за литр? Почему?
2. Что дороже: ткань по 1 доллару за ярд или по 1 доллару за метр? Почему?
3. Что выгоднее: сахар по 5 центов за фунт или по 11 центов за килограмм? Почему?
4. Выразите в сантиметрах рост мальчика 5 футов 6 дюймов.
5. Какова длина этой страницы в сантиметрах? В дюймах?
6. Какова масса литра воды? 500 кубических сантиметров? 1 кубического сантиметра?
7. Расстояние от Чикаго до Нью-Йорка составляет 940 миль. Выразите это в километрах.
8. Сколько литров содержится в 10-галлонной банке молока?
9. Сколько будет стоить 100 метров ткани по цене 10 центов за ярд?
10. Сколько будет стоить 4 кг говядины по цене 15 центов за фунт?
11. Сколько будет стоить 5,5 фунта баранины по цене 40 центов за килограмм?
12. Как можно изменить состояние тела? Назовите три способа.
13. Исправьте утверждение 1 см3 = 1 г.
14. Сколько литров в 32 квартах?

ГЛАВА II

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИЛЫ И ДВИЖЕНИЯ

(1) Свидетельства молекулярного движения в газах

14. Размер молекул. — Разница между твердыми телами, жидкостями и газами объясняется разным поведением молекул в трех состояниях вещества. То есть в твердых телах они сцепляются друг с другом, в жидкостях они движутся свободно, а в газах они разделяются. В данный момент мы рассмотрим доказательства молекулярного движения в газах. Необходимо помнить, что молекулы чрезвычайно малы. Говорят, что если в бутылке, содержащей около 1 кубического сантиметра обычного воздуха, проделать крошечное отверстие, через которое каждую секунду будет выходить 100 000 000 молекул (число, почти равное населению Соединенных Штатов), то для того, чтобы все молекулы вышли, потребуется не несколько минут или часов, а почти 9000 лет. Профессор Резерфорд подсчитал, что количество молекул в 1 кубическом сантиметре воздуха при температуре 0 °C и давлении 76 см составляет 2,7 × 10(19) Очевидно, что такие крошечные частицы невозможно увидеть или взять в руки по *отдельности.* Мы должны судить об их размере и действии по результатам экспериментов.

15. Диффузия газов. Одним из доказательств того, что газ состоит из движущихся частиц, является скорость, с которой газ с сильным запахом проникает во все части комнаты. Например, если утекает светильный газ, он быстро диффундирует и становится заметным во всей комнате. Фактически, обычный опыт диффузии газов с сильным запахом таков, что мы сразу же понимаем, что это происходит из-за какого-то движения. Газ, имеющий запах, состоит из мелких частиц, которые постоянно сталкиваются со своими соседями и, в свою очередь, подвергаются ударам и толчкам, пока отдельные молекулы не рассеиваются по всему пространству. Когда в кухне варят капусту, об этом сразу узнают все в доме. Другие примеры распространения газов приходят на ум любому из личного опыта, например, приятный запах от поля цветущего клевера.

Следующий эксперимент иллюстрирует быстрое распространение газов.

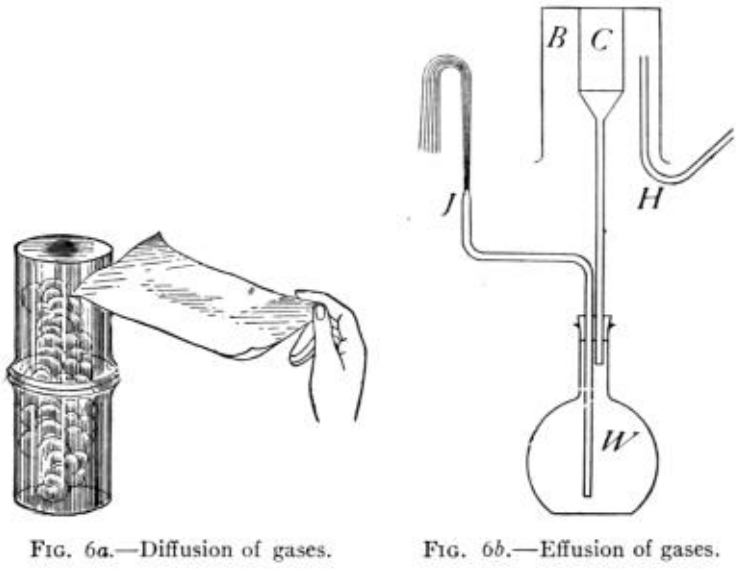


Рис. *6а*. — Диффузия газов. Рис. *6б*. — Эффузия газов.

Возьмите два стакана (см. рис. *6a*), смажьте внутреннюю поверхность одного из них несколькими каплями крепкого раствора аммиака, а другого — небольшим количеством соляной кислоты. Накройте каждый стакан листом чистой бумаги. Теперь в стаканах ничего не видно. Переверните второй стакан над первым, оставив между ними бумагу, и расположите их так, чтобы края совпадали. При снятии бумаги можно заметить, что оба стакана быстро заполняются облаком мелкодисперсных частиц, поскольку два вещества химически соединились, образовав новое вещество — хлорид аммония.

Благодаря своим небольшим размерам молекулы воздуха легко проходят через пористые твердые тела, ткань, неглазурованную глиняную посуду и т. д. Следующий эксперимент наглядно демонстрирует этот факт. (См. рис. *6b*.)

Колба с водой закрыта резиновой пробкой, через которую проходит стержень стеклянной воронки и изогнутая стеклянная трубка, вытянутая до небольшого отверстия (*J*). В верхней части воронки закреплена перевернутая пористая глиняная банка (*C*), над которой установлена чашка (*B*). Кусок гибкой резиновой трубки (H*)*, идущий от генератора водорода, поднимается до верха пространства между банкой и стаканом. Когда водородный газ поступает в пространство между C и B*,* уровень воды в W понижается, и поток воды вытекает из J, брызгая в воздух.

При прекращении потока водорода и удалении *B* вода быстро опускается в *J*, и из трубки в воду попадают пузырьки воздуха. (Вышеуказанные шаги можно повторять столько раз, сколько необходимо).

Этот эксперимент иллюстрирует тот факт, что молекулы некоторых газов движутся быстрее, чем молекулы других газов. Молекулы водорода движутся примерно в четыре раза быстрее, чем молекулы воздуха. Следовательно, хотя молекулы воздуха и водорода сначала движутся в противоположных направлениях через стенки *C*, водород проникает внутрь гораздо быстрее, чем выходит воздух. В результате он накапливается, создает давление и выталкивает воду в W и наружу в J*.* При удалении B водород из пористой чашки выходит гораздо быстрее*,* чем воздух возвращается обратно. Это уменьшает давление внутри, так что воздух врывается через J*.* Этот эксперимент демонстрирует не только факт молекулярного движения в газах, но и то, что молекулы водорода движутся гораздо быстрее, чем молекулы воздуха. (Этот эксперимент будет работать с осветительным газом, но не так впечатляюще).

Тщательные эксперименты показали, что скорость обычных молекул воздуха составляет 445 метров или 1460 футов в секунду, в то время как молекулы водорода движутся со скоростью 1700 метров или 5575 футов, или более мили в секунду.

16. Расширение газов. Газы также обладают свойством неограниченного расширения, то есть, если небольшое количество газа поместить в вакуум, он немедленно расширится, равномерно заполнив все пространство. Это демонстрирует эксперимент с воздушным насосом. При подъеме поршня воздух мгновенно заполняет пространство под ним. По мере удаления воздуха из ресивера воздушного насоса ( ) оставшийся воздух равномерно распределяется внутри.

17. Как газы оказывают давление. — Кроме того, установлено, что воздух в обычных условиях оказывает давление около 15 фунтов на квадратный дюйм. В автомобильной шине давление может достигать 90 фунтов, а в паровом котле — 200 фунтов и более на квадратный дюйм.

Как создается давление? Молекулы газа не плотно спрессованы, поскольку при превращении пара в воду его объем сокращается примерно до 1/1600 от прежнего. Объем воздуха при превращении в жидкий воздух сокращается примерно до 1/800 от прежнего. Таким образом, давление газа обусловлено не тем, что газ заполняет все пространство, в котором он действует, а скорее движением молекул. Удар одной молекулы незаметен, но когда множество молекул ударяется о поверхность, их совокупный эффект становится значительным. Фактически, известно, что это действие создает давление, которое газ оказывает на стенки сосуда, в котором он находится. Естественно, если мы сжимаем в два раза больше газа в данном пространстве, то в данный момент времени будет ударяться в два раза больше молекул, что даст в два раза большее давление.

Если газ нагревается, то тепло вызывает более быстрое движение молекул. Это также приводит к более сильному удару молекул и, следовательно, к расширению газа или увеличению давления.

17а. Брауновское движение. — Прямые фотографические доказательства движения молекул в газах были получены путем изучения поведения крошечных капель масла, взвешенных в неподвижном воздухе. Такие капли, вместо того чтобы находиться в покое, постоянно танцуют, как будто они непрерывно получают удары со многих сторон. Эти движения были названы *брауновским движением* (см. рис. 7).

Было доказано, что эти движения вызваны ударами, которые эти маленькие капли получают от быстро движущихся молекул газа, окружающего их. Если капли становятся меньше или газ более плотным, интенсивность движений увеличивается. Эти эффекты особенно заметны при давлении 0,01 атмосферы.

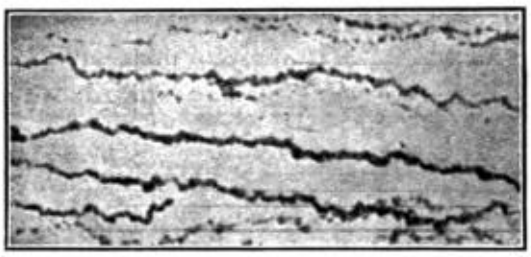


FIG. 7.—Photograph of Brownian movement. This record is prepared by the aid of Siedentopf's ultra-microscope and a plate moving uniformly across the field from left to right.

РИС. 7. — Фотография броуновского движения. Эта запись сделана с помощью ультрамикроскопа Зидентопфа и пластины, равномерно перемещающейся по полю слева направо.

Важные темы

Предполагается, что воздух и все газы состоят из быстро движущихся молекул; что это движение зависит от температуры и давления. Доказательством этому служат (а) диффузия, (б) расширение, (в) давление. Брауновское движение.

Вопросы

1. Что такое молекулярная (кинетическая) теория газов?

2. Какие три вида доказательств помогают подтвердить эту теорию?

3. Что вы видели, что, по-вашему, свидетельствует о том, что газ состоит из движущихся молекул?

4. Сколько метров в длину имеет 10-футовый шест?

5. Сколько фунтов весит мальчик весом 50 кг?

6. Назовите три преимущества метрической системы.

7. Сколько будет стоить 12 кварт молока по 8 центов за литр?

8. Сколько кубических сантиметров будет содержать куб со стороной 1 метр? Сколько литров? Сколько будет весить кубический метр воды?

(2) Молекулярное движение в жидкостях

18. Диффузия жидкостей. — Из приведенных в статьях 14-17 доказательств (а) диффузии запахов, (б) непрерывного *расширения* воздуха в воздушном насосе и (в) давления, оказываемого газом во всех направлениях, можно без труда понять, что *газ состоит из мелких частиц, находящихся в быстром движении*. Рассмотрим теперь некоторые доказательства молекулярного движения в жидкостях. Если добавить немного уксуса в ведро с водой, то вскоре вся вода приобретет кислый вкус. Кусочек сахара в чашке чая подсластит все ее содержимое. Это действие в некоторой степени похоже на диффузию газов, но происходит гораздо медленнее. Поэтому считается, что движение молекул жидкости гораздо медленнее, чем движение молекул газа.

Опять же, если блюдо с водой оставить на открытом воздухе в хорошую погоду, то через несколько дней оно высохнет, хотя никто ничего из него не брал. Мы говорим, что вода *испарилась*. То, что было жидкостью, теперь стало *паром*. Если бы мы внимательно наблюдали за любым блюдом с водой, то обнаружили бы, что в сухие дни оно постоянно теряет вес. То есть происходит постоянное движение молекул воды в воздух. Это движение молекул объясняется следующим образом. В тарелке с водой, по-видимому, есть некоторые молекулы, которые, двигаясь взад и вперед, приобретают большую скорость, чем их соседи; когда они достигают поверхности жидкости, некоторые колебания или движения заставляют их взлететь в воздух. Теперь они являются молекулами пара или газа, летающими, ударяющимися и отскакивающими, как молекулы воздуха. Иногда при отскоке молекулы воды снова попадают в воду. Это особенно часто происходит, когда воздух влажный, т. *е.* когда он содержит много молекул воды. Иногда воздух над посудой становится *насыщенным,* как в верхней части закупоренной бутылки , содержащей воду. Хотя молекулы постоянно покидают поверхность воды, они не могут выйти из бутылки, поэтому со временем столько же молекул должно вернуться в воду из пространства над ней, сколько покидает воду за то же время. Когда существует такое состояние, воздух над водой считается *насыщенным.* В очень влажные дни воздух часто бывает насыщенным. Вышеприведенное объяснение показывает, почему мокрая одежда так медленно сохнет в такой день (см. статьи 166-7 о насыщении).

19. Охлаждающий эффект испарения. Мы видели, что нагревание газа увеличивает его объем. Это расширение происходит из-за увеличения движения нагретых молекул. Теперь молекулы, которые улетучиваются из жидкости при ее испарении, естественно, являются самыми быстро движущимися, *т. е.* самыми горячими. Остающиеся молекулы — это более медленно движущиеся или более холодные молекулы. Поэтому жидкость становится холоднее по мере испарения, если она не нагревается. Это объясняет, почему вода, испаряющаяся с поверхности нашего тела, охлаждает нас. При испарении вода постоянно

теряет свои теплые, быстро движущиеся молекулы. Таким образом, *охлаждающий эффект* испарения является доказательством молекулярного движения в жидкостях.

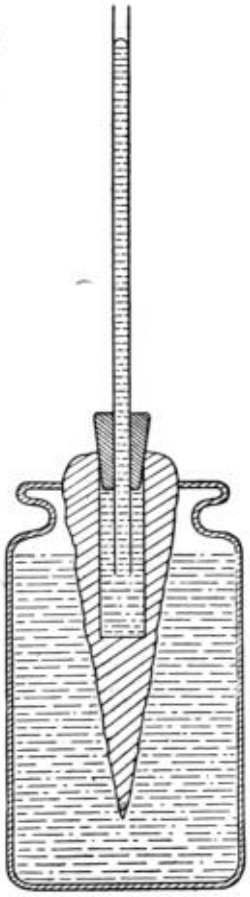


FIG. 8.—Osmosis shown by carrot placed in water.

Рис. 8. Осмос, показанный на примере моркови, помещенной в воду.

2*0*. Осмос. — Если две жидкости разделены мембраной или пористой перегородкой, они стремятся проникнуть через нее и смешаться. Это явление называется осмосом.

Такое движение молекул жидкости при осмосе можно проиллюстрировать, заполнив свеклу или морковь, из которой вырезана внутренняя часть , чтобы образовать круглое отверстие (см. рис. 8), густым сиропом. Затем отверстие закрывается сверху резиновой пробкой, через которую проходит длинная стеклянная трубка.

Если морковь погрузить в воду, как показано на рис. 8, то сразу же начинается движение воды через пористую стенку внутрь. Здесь, как и в эксперименте с водородом и воздухом, проходящими через пористую чашку, более легкая жидкость движется быстрее. Вода, собирающаяся в моркови, поднимается в трубке. Это действие жидкостей, проходящих через пористые перегородки и смешивающихся, называется *осмосом*.

Газы и жидкости похожи в том, что оба они *текут*. Поэтому их называют *флюидами*. Иногда жидкость встречает большое сопротивление при течении, как, например, меласса. Это сопротивление называется *вязкостью*. Спирт и бензин имеют низкую вязкость. Они *прозрачны* и *подвижны*. Воздух также имеет некоторую вязкость. Например, поток воздуха всегда увлекает за собой часть окружающего воздуха.

Важные темы

1. Жидкости ведут себя так, как будто они состоят из мелких частиц, находящихся в движении.

2. Это проявляется в (1) диффузии, (2) растворении, (3) испарении, (4) расширении, (5) осмосе.

Упражнения

1. Приведите пример или иллюстрацию каждого из пяти доказательств молекулярного движения в жидкостях.

2. Когда воздух насыщается? Как это объяснить?

3. Почему нагревание жидкости увеличивает скорость ее испарения?

4. Молекулы воздуха находятся в быстром движении во всех направлениях. Попадают ли они в жидкость с поверхностью, открытой для воздуха? Объясните почему.

5. Каковы некоторые неудобства жизни в насыщенной атмосфере?

6. Рыбы нуждаются в кислороде. Как он получается?

(3) Молекулярные силы в жидкостях

21. Когезия и адгезия. — В жидкостях «молекулы движутся свободно, но имеют тенденцию прилипать друг к другу». Эта склонность молекул к сцеплению, которая не заметна в газах, характерна для **жидкостей** и особенно для **твердых тел.** Она является причиной вязкости, упомянутой в предыдущем разделе, и легко обнаруживается различными способами. Например, молекулы жидкости не только сцепляются друг с другом, образуя капли и потоки, но и прилипают к молекулам твердых тел, о чем свидетельствует влажная поверхность предмета, погруженного в воду. Притяжение однородных молекул друг к другу называется *когезией,* а притяжение **разнородных молекул** — *адгезией,* хотя сила притяжения одинакова, независимо от того, однородны молекулы или разнородны. Именно когезия вызывает образование капель воды и удерживает железо, медь и другие твердые тела в прочном соединении. Хорошо известна адгезия клея к другим предметам. Краска также хорошо «прилипает». Иногда «соединение» двух досок, склеенных между собой, оказывается прочнее самой доски. Сила притяжения между молекулами была тщательно изучена. Притяжение действует только на очень короткие расстояния. Притяжение даже в жидкостях значительно и может быть измерено. Когезию воды можно продемонстрировать с помощью эксперимента, в котором измеряется сила, необходимая для извлечения стеклянной пластины с поверхности воды.

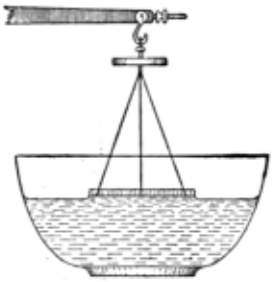


FIG. 9.—The water is pulled apart.

Рис. 9. — Вода отрывается.

Возьмите весы с балковым рычагом и подвесьте на один рычаг круглую стеклянную пластину, рис. 9. Взвесьте пластину и ее опору. Отрегулируйте стеклянную пластину так, чтобы она висела горизонтально и слегка касалась поверхности чистой воды, а нижняя сторона была полностью мокрой. Теперь определите, какой дополнительный вес необходим, чтобы поднять стеклянную пластину из воды.

Как только пластина поднимается из воды, ее нижняя сторона оказывается мокрой. То есть *вода была раздвинута*, а пластина не была вытащена из воды. Сцепление воды с самой собой не так сильно, как ее сцепление со стеклом.

Связность жидкостей также проявляется в форме, которую капля жидкости принимает, когда ее оставляют в покое. Это хорошо видно на примере небольших капель жидкости. Примером может служить сферическая форма капель воды или ртути. Смесь спирта и воды в правильных пропорциях будет поддерживать оливковое масло внутри себя. Аккуратно капая оливковое масло из пипетки в такую смесь, можно сформировать каплю масла диаметром в дюйм или более, взвешенную в жидкости. Лучше всего использовать бутылку с плоскими или ровными сторонами, так как при использовании круглой бутылки сфера масла будет выглядеть сплющенной.

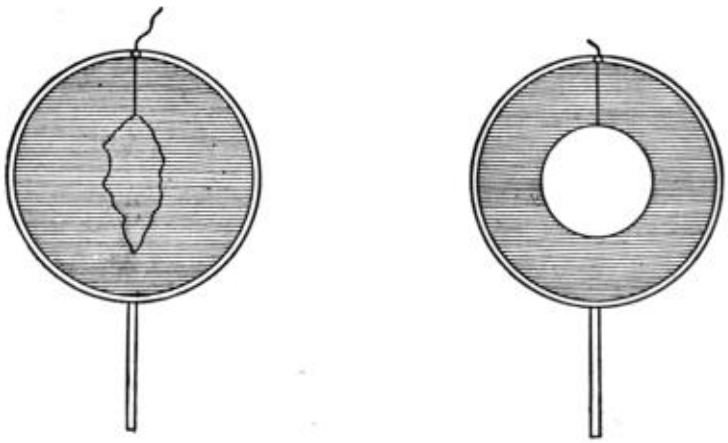


FIG. 10 *a*. FIG. 10 *b*.

FIGS. 10 *a* AND *b*.—Surface tension of a liquid film.

Рис. 10 *а* и *б*. — Поверхностное натяжение жидкой пленки.

22. Поверхностное натяжение. Когезия жидкостей также проявляется в стремлении плёнок принимать минимально возможную поверхность. Это хорошо видно на примере мыльных пузырей. На рис. 10 а показана круглая проволочная форма, удерживающая пленку, в которой плавает петля нити. Напряжение пленки показано на рис. 10 б по круглой

форме петли после того, как пленка внутри нее была проткнута горячей проволокой. На рис. 11 показана прямоугольная проволочная форма с «всадником». Напряжение в пленке тянет всадника вперед.

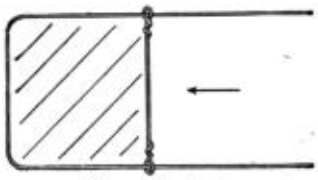


Fig. 11.—The rider is drawn forward.

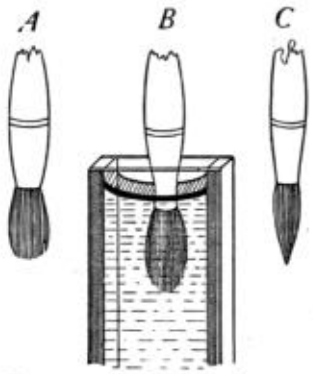


Fig. 12.—Surface tension causes the pointed shape.

Рис. 11. — Всадник тянется вперед.
Рис. 12. — Поверхностное натяжение приводит к образованию заостренной формы.

Мыльный пузырь принимает сферическую форму, потому что такая форма удерживает заключенный в нем воздух на минимально возможной поверхности. Капля жидкости имеет сферическую форму по той же причине. Можно привести много примеров натяжения в пленках. Пользователи акварельных красок замечают, что сухая кисть из верблюжьей шерсти имеет пушистую форму. (Рис. 12 А*)*. В воде она остается пушистой. (Рис. 12 В.) Но когда ее вынимают из воды и стряхивают с нее лишнюю воду, она становится заостренной, как на рис. 12 С. Заостренная форма удерживается за счет напряжения жидкой пленки вокруг кисти.

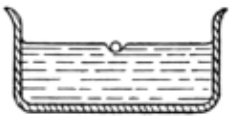


Fig. 13.—A needle depresses the surface when floating.

Рис. 13. — Игла вдавливает поверхность, когда плавает.

Поверхность воды действует так, как будто она покрыта пленкой, которая сцепляется сильнее, чем вода под ней. Это подтверждается тем фактом, что стальная игла или тонкая металлическая полоска могут плавать на поверхности воды. Их поддерживает поверхностная пленка. (См. рис. 13.) Если пленка разрывается, игла тонет. Эта пленка также поддерживает маленьких водяных жуков, которые бегают по поверхности тихого пруда в летний период в штате Нью-Йорк ( ). Поверхностная пленка в некоторых жидкостях более прочная, чем в других. Это можно продемонстрировать, взяв окрашенную воду, чтобы ее было видно, нанеся тонкий слой на белую поверхность и капнув на нее спирт. Везде, где капает спирт, вода оттягивается от него, оставляя пустое пространство, по которому растекается спирт. Это указывает на то, что спирт имеет более слабую пленку. *Пленка жирного бензина более прочная*, чем пленка чистого вещества. Если вы хотите удалить жирное пятно и нанесете чистый бензин на центр пятна, более прочная пленка жирной жидкости оттянется от чистого бензина и растечется, образовав пятно большего размера, чем было ранее, а если нанести чистый бензин *вокруг жирного пятна,* жирная жидкость в центре оттянется от чистого бензина, притягивая все больше и больше к центру, где ее можно будет стереть и полностью удалить жир.

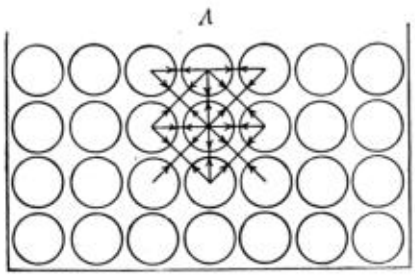


FIG. 14.—The molecule at *A* is held differently from one within the liquid.

Рис. 14. Молекула в *точке А* удерживается иначе, чем молекула внутри жидкости.

23. Объяснение поверхностной пленки. Под поверхностью жидкости каждая молекула притягивается всеми другими молекулами вокруг нее. Она притягивается одинаково во всех направлениях. Следовательно, внутренние молекулы очень легко перемещаются друг над другом в любом направлении. Молекула на поверхности, как в точке А на рис. 14, не притягивается *вверх* другими молекулами жидкости. Таким образом, ее свобода движения ограничивается, в результате чего молекула на поверхности ведет себя иначе, чем молекула под поверхностью. Молекулы на поверхности действуют так, как будто они образуют эластичную пленку или мембрану на поверхности жидкости.

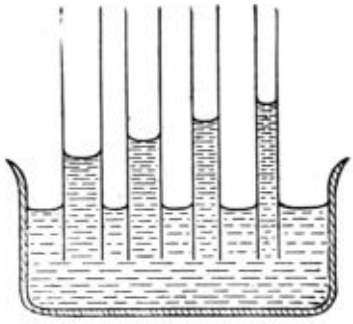


FIG. 15.—Capillary attraction in tubes.

Рис. 15. — Капиллярное притяжение в трубках.

24. Капиллярность. — Поразительное действие поверхностной пленки жидкости наблюдается при подъеме жидкости в трубках с малым диаметром, когда жидкость *смачивает* их. Если жидкость *не смачивает* трубку, как в случае с ртутью, помещенной в стекло, жидкость опускается. В целом установлено, что: *жидкости поднимаются в капиллярных трубках, когда они смачивают их, и опускаются в трубках, которые они не смачивают; чем меньше диаметр трубки, тем больше изменение уровня.* (См. рис. 15.) Это явление объясняется следующим образом: молекулы жидкости притягиваются друг к другу, а также к стенкам трубки. Первое явление называется «когезией», второе — «адгезией к стенкам сосуда». Если когезия по отношению к себе больше, чем адгезия к стенкам сосуда, жидкость оттягивается от стенок и опускается. Если адгезия больше, жидкость поднимается. Это явление называется «капиллярным действием» от латинского слова (*capillus)*, означающего «волос», поскольку оно наиболее хорошо проявляется в тонких трубках, похожих на волосы.

Существует много распространенных примеров капиллярного действия: масло, поднимающееся по фитилю; вода, поднимающаяся по полотенцу или через одежду; чернила в промокашке и т. д. Мельчайшие промежутки между волокнами, составляющими эти объекты, действуют как тонкие трубочки. Если ткань обработать препаратом, который предотвращает прилипание воды к ее волокнам, материал не намокнет, когда на него нальют воду, потому что вода не будет стекать между волокнами; по поверхности ткани

распространяется пленка, так что вода не проникает в нее. *Ткань Cravenette* была обработана таким образом и поэтому является водонепроницаемой.

Действие этой пленки можно продемонстрировать с помощью следующего эксперимента. Окуните сито из тонкой медной сетки в расплавленный парафин, покрыв таким образом каждую проволоку, чтобы вода не прилипала к ней. Теперь в сито можно налить воду, если сначала положить в него кусок бумаги, чтобы ослабить силу воды. При осторожном удалении бумаги поверхностная пленка воды предотвратит прохождение воды через сито.

25. Капиллярное действие в почвах. Распределение влаги в почве в значительной степени зависит от капиллярного действия. Когда почва уплотнена, мельчайшие промежутки между частицами почвы действуют как капиллярные трубки, помогая воде подниматься на поверхность. По мере испарения воды с поверхности, большая ее часть поднимается за счет капиллярного действия из более влажной почвы ниже. Поддержание рыхлости почвы путем возделывания делает пространства между частицами слишком большими для значительного капиллярного действия, что в значительной степени препятствует подъему влаги на поверхность.

В полузасушливых регионах Запада успешно практикуется *«сухое земледелие»*. Оно заключается в том, чтобы поверхность почвы была покрыта «пылевой мульчей», образующейся в результате частого возделывания. Таким образом, влага удерживается под поверхностью, где она может быть использована корнями растущих растений во время жаркого сухого лета.

Важные темы

1. Силы притяжения между молекулами жидкости.

2. Когезия (подобные молекулы); адгезия (неподобные молекулы).

3. Особые эффекты этой силы классифицируются как (а) капиллярное действие и (б) поверхностное натяжение.

Упражнения

1. Какие доказательства капиллярного явления вы видели за пределами лаборатории?

2. Как объясняется капиллярное явление?

3. Где встречаются поверхностные пленки?

4. Назовите три распространенных эффекта поверхностных пленок.

5. Объясните, почему ткань кравенет отталкивает воду.

6. Если для извлечения круглого стеклянного диска диаметром 10 см из воды требуется усилие 50 грамм, какова когезия воды на квадратный сантиметр?

7. Каков вес в граммах 1 см^3 воды? 1 литра воды?

8. Назовите пять примеров адгезии, которые можно найти в вашем доме.

9. При каких условиях жидкость смачивает твердое тело и растекается по нему?

10. Когда она образует капли на поверхности?

11. Объясните правильную процедуру удаления жирного пятна с помощью бензина.

12. В чем разница между жидкостью и флюидом?

13. Почему из чистой воды нельзя надуть «мыльный пузырь»?

14. Что больше: молекулы пара или молекулы воды? Почему?

15. Почему земля под камнем или доской может быть влажной, когда вокруг она сухая?

16. Почему любая жидкость, падая в воздухе, принимает форму капель?

17. Приведите три примера капиллярного притяжения, которые можно наблюдать в домашних условиях. Три примера вне дома.

18. Почему возделывание почвы предотвращает быстрое испарение воды из земли?

(4) Свидетельства молекулярных сил в жидкостях и твердых телах

26. Растворы. Кристалл перманганата калия помещают в литр воды. Он быстро растворяется, и при встряхивании колбы каждая часть жидкости окрашивается в красный цвет. Растворение перманганата иллюстрирует притяжение молекул воды к молекулам перманганата ( ). Мы знакомы с этим явлением при приправе пищи солью и подслащивании сахаром.

Вода растворяет многие вещества, но в разной степени, *т. е*. некоторые вещества она растворяет хорошо, другие — плохо, а третьи — вообще не растворяет. Кроме того, разные жидкости имеют разную растворяющую способность. Спирт растворяет смолу и шеллак, но не растворяет гуммиарабик, который растворим в воде. Бензин растворяет жир. Пчелиный воск не растворяется в воде, спирте или бензине, но растворим в скипидаре.

Установлено, что *температура* жидкости оказывает заметное влияние на количество вещества, которое растворяется. Это указывает на то, что *движение* молекул в растворе имеет большое значение ( ). Похоже, что растворение твердого вещества в некоторых отношениях похоже на испарение, и так же, как при более высоких температурах испаряется большее количество жидкости, потому что большее количество молекул улетучивается из жидкости в воздух, так и при более высоких температурах большее количество молекул твердого вещества отрывается от него в результате более сильной вибрации и переходит в жидкость.

Кроме того, так же как испаряющаяся жидкость может насыщать пространство над собой, так что любой уход молекул уравновешивается возвращающимися, так и при растворении твердого вещества жидкость может стать *насыщенной*, так что растворение большего количества твердого вещества уравновешивается возвращением молекул из жидкого состояния в твердое.

27. Кристаллы и кристаллизация. — Это возвращение из жидкого состояния в твердое состояние молекул, находящихся в растворе, особенно заметно, когда раствор охлаждается или испаряется и, следовательно, теряет способность удерживать столько твердого вещества. При возвращении в твердое состояние молекулы присоединяются определенным образом к твердой части , образуя регулярные твердые формы. Эти регулярные формы являются *кристаллами*. Действие, которое их формирует, называется *кристаллизацией*.

Каждое вещество, по-видимому, имеет свою *собственную форму кристалла,* обусловленную способом присоединения молекул к ранее находившимся на месте. Наиболее крупные и *симметричные кристаллы — это* те, в которых молекулы оседают медленно, без возмущения жидкости. Красивые кристаллы квасцов можно получить, растворив 25 г квасцов в 50 см3 горячей воды, опустив в раствор две или три нитки и оставив его на ночь. Волокна ниток служат основой, на которой растут кристаллы.

Когда *раствор* твердого вещества испаряется, молекулы *жидкости* улетучиваются в виде газа, а молекулы *твердого* вещества остаются и накапливаются в виде кристаллов. Этот принцип имеет много применений: (а) морская вода очищается путем *испарения воды и конденсации пара*, который, конечно, образует чистую воду. (б) вода закачивается в *соляные* пласты, где она растворяет соль. Затем рассол поднимается и испаряется, оставляя соль в испарительных чанах.

28. Поглощение газов твердыми телами и жидкостями. — Если кусок нагретого угля поместить в пробирку, содержащую аммиак, перевернутую в ртути, то аммиак исчезает, а ртуть поднимается, занимая его место. Аммиак поглощается углем, молекулы газа плотно прилипают к твердому телу. Уголь, будучи очень пористым, представляет собой большую поверхность для воздействия газа.

Этот эксперимент показывает, что между молекулами газа и другими молекулами существует притяжение. Многие пористые вещества обладают способностью поглощать газы. Все мы замечали, что на вкус масла влияют вещества, помещенные рядом с ним.

То, что *жидкости поглощают газы,* можно продемонстрировать, медленно нагревая холодную воду в стакане ( ). Небольшие пузырьки воздуха образуются на стенках и поднимаются вверх до достижения точки кипения. Аммиак легко поглощается водой, пузырьки исчезают почти сразу же после попадания в воду из конца подающей трубки. *Бытовой аммиак* представляет собой просто раствор аммиака в воде. При нагревании раствора аммиака газ начинает выделяться; таким образом, нагревание жидкости способствует выделению растворенного в ней газа.

Газированная вода получается путем введения углекислого газа в воду под высоким давлением. При помещении в сосуд, открытый для доступа воздуха, давление снижается и часть газа выходит. Растворенный газ придает напитку характерный вкус.

Важные темы

1. Растворение твердых веществ увеличивается при нагревании.

2. Растворение газов уменьшается при нагревании.

3. Давление увеличивает количество газа, которое может раствориться в жидкости.

4. Притяжение (когезия) молекул растворенного твердого вещества друг к другу проявляется в кристаллизации.

Упражнения

1. Как рыбы получают кислород для дыхания?

2. Почему нагревание воды позволяет ей растворять больше соли?

3. Почему нагревание воды уменьшает количество газа, которое остается в растворе?

4. Будет ли вода поглощать газы с сильным запахом? Откуда вы это знаете?

5. Назовите три растворителя. Укажите назначение каждого из них.

6. Какие жидкости обычно содержат растворенные газы? Назовите некоторые области применения этих растворенных газов.

7. Каков вес кубического метра воды?

8. Назовите три вещества, получаемые путем кристаллизации.

9. Как получают кленовый сахар?

10. Назовите пять кристаллических веществ.

(5) Свидетельства молекулярных сил в твердых телах

29. Различия между твердыми телами и газами. При изучении газов видно, что они ведут себя так, как будто состоят из мелких частиц, которые быстро движутся, постоянно сталкиваются и отскакивают друг от друга, а также разделяются, чтобы заполнить любое пространство, в которое они попадают. Такое поведение указывает на то, что между такими молекулами практически нет силы притяжения.

Однако между молекулами твердого тела силы притяжения сильны, о чем свидетельствует тот факт, что для разъединения твердого тела часто требуется большая сила; некоторые, такие как сталь и железо, демонстрируют это свойство в высшей степени: для разъединения высококачественного стального стержня диаметром 1 см требуется почти 9 тонн. Испытания показывают, что прочность таких стержней на разрыв прямо пропорциональна площади их поперечного сечения. То есть удвоенная площадь имеет удвоенную прочность на разрыв.

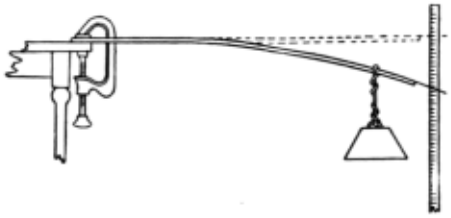


Fig. 16.—Elasticity of bending.

Рис. 16. — Эластичность при изгибе.

30. Упругость. Не менее важно, чем знание прочности твердых тел на разрыв, знание того, что происходит, когда приложенные силы недостаточны для разрыва стержней или проволок.

Возьмите деревянный стержень (например, метровую линейку) и зажмите один его конец на столешнице, как показано на рис. 16. На другой конец повесьте груз. Прикрепите к этому концу проволоку так, чтобы она выступала перед шкалой. Поочередно добавляйте несколько одинаковых грузов и каждый раз отмечайте положение проволоки. Удаляйте грузы по порядку, отмечая их положение, как и раньше. Стержень, вероятно, вернется в исходное положение.

Этот простой эксперимент иллюстрирует характерную особенность твердых тел: изменение формы при приложении силы и возвращение к исходной форме при снятии силы. Это свойство называется *упругостью*.

Испытания на упругость проводятся путем подвергания проволоки из разных материалов, но одинаковых размеров, одинаковому натяжению. Проволока, которая изменяется меньше всего, считается обладающей наибольшей *упругой силой* или упругостью. Если на проволоку воздействовать более сильными силами, а затем снять их, то в конце концов будет найдена сила, которая необратимо растянет проволоку, так что она не вернется точно к прежней длине. Проволока теперь превысила *предел упругости* и была необратимо растянута.

Так же как существуют большие различия между *упругими силами* разных веществ, так и существуют большие различия в *пределах упругости*. У некоторых веществ предел достигается при небольшом деформировании, в то время как другие остаются *совершенно упругими* даже при сильном растяжении. Каучук является примером вещества, обладающего *совершенной* упругостью в широких пределах. Стекло обладает большой *упругой силой*, но его *предел упругости* достигается довольно быстро. Можно сказать, что такие вещества, как индийская резина, обладают большой «*растяжимостью*», но малой упругой силой. В физике упругость относится скорее к упругой силе, чем к способности выдерживать растяжение.

31. Виды упругости. *Упругость может проявляться четырьмя способами*: *сжатие*, *изгиб* или *сгибание*, *растяжение* или *удлинение*, *скручивание* или *кручение*. Первый способ иллюстрируется сжатием резинового ластика, второй — автомобильной пружиной, третий — растяжением резинки, четвертый — скручиванием и раскручиванием веревки, на которой подвешен груз.

Существует два вида упругости: (1) упругость формы или конфигурации; (2) упругость объема. Газы и жидкости обладают упругостью объема, но не формы, в то время как твердые тела могут обладать обоими видами. Газы и жидкости являются идеально упругими, поскольку независимо от того, какое давление на них оказывается, как только давление снимается, они восстанавливают свой прежний объем. Ни одно твердое тело не обладает совершенной упругостью, поскольку рано или поздно будет достигнут предел упругости.

32. Закон Гука.[A] —При изучении последовательных движений конца стержня в ст. 30 мы обнаруживаем, что они примерно равны. Тщательно проведенные эксперименты по изучению упругости тел показали, что изменения формы *прямо* пропорциональны приложенным силам, при условии, что предел упругости не достигнут. Эта зависимость, открытая Робертом Гуком, иногда выражается следующим образом: *«В пределах совершенной упругости все изменения размера или формы прямо пропорциональны силам, которые их вызывают».*

33. Молекулярные силы и молекулярные движения. — Если твердое тело сжимается, то при снятии давления оно восстанавливает свою прежнюю форму, если оно не было сжато слишком сильно. Это указывает на то, что при данной температуре «молекулы твердого тела стремятся оставаться на фиксированном расстоянии друг от друга и сопротивляются любой попытке уменьшить или увеличить это расстояние». Это поднимает вопрос: почему когезия не сжимает молекулы так сильно, что сжатие становится невозможным? Причина заключается в том, что тепло влияет на размер твердых тел. При понижении температуры тела действительно сжимаются, поскольку, как только температура понижается, колебания молекул уменьшаются. При повышении температуры молекулы отталкиваются друг от друга.

Таким образом, размер тела является результатом баланса противодействующих сил. Сила притяжения между молекулами, сближающая их, является *когезией*, а сила, раздвигающая их, обусловлена движением молекул. Повышение температуры и, следовательно, увеличение движения вызывает расширение; понижение температуры уменьшает движение молекул и, таким образом, вызывает сжатие. Если внешняя сила пытается раздвинуть тело или сжать его, этому изменению размера противодействует либо когезия, либо движение молекул.

34. Свойства вещества. Многие различия в физических свойствах твердых тел обусловлены различиями в силе когезии различных типов молекул. В некоторых веществах сила притяжения такова, что их можно раскатать в очень тонкие листы. Лучшим примером этого является золото, из которого можно изготовить листы толщиной 1/300 000 дюйма. Это свойство называется *ковкостью*. В других веществах когезия позволяет вытягивать их в тонкие нити или проволоку. Примерами этого являются стекло и кварц. Это свойство называется *пластичностью.* В некоторых веществах когезия делает их чрезмерно *твердыми,* так что их поверхность трудно обрабатывать или царапать. Алмаз — самое твердое из известных веществ. Некоторые вещества являются *вязкими,* другие — *хрупкими.* Их испытывают на способность выдерживать внезапные удары, например удары молотком.

Важные темы

1. Молекулярные силы в твердых телах; (*а*) адгезия, (*б*) когезия.

2. Эластичность, закон Гука.

3. Сжатие при охлаждении.

4. Ковкость, пластичность, твердость, хрупкость и т. д.

Упражнения

1. Приведите пример закона Гука из собственного опыта.

2. В каких устройствах он используется?

3. Испаряются ли твердые тела? Приведите обоснование.

4. При сварке железа действует когезия или адгезия?

5. При пайке оловянной миски действует когезия или адгезия?

6. Иногда пружина становится более упругой благодаря *закалке* и более мягкой благодаря *отжигу*. Найдите значение этих двух терминов. Как достигается каждый из этих эффектов?

7. Просмотрите определения: твердое тело, жидкость и газ. Почему эти определения теперь имеют для вас большее значение, чем раньше?

8. Если проволока растягивается на 0,3 см при приложении силы 4 кг, какая сила растянет ее на 0,75 см? Объясните.

9. Сколько времени потребуется молекуле газа, чтобы пересечь комнату в обычных условиях? Обоснуйте свой ответ.

10. Что означает предел упругости тела?

11. Если балка прогибается на 4 мм под нагрузкой 60 кг, не достигая предела упругости, то каким будет прогиб под нагрузкой 400 кг? А под нагрузкой 600 кг?

12. Назовите три вещества, обладающие упругостью объема.

13. Приведите по три примера для каждого из следующих видов упругости: (1) сжатие, (2) растяжение, (3) кручение, (4) изгиб.

Обзор: Введение и молекулы

Физика; определение, рассматриваемые темы, физические и химические изменения.

Наука; гипотеза, теория, закон. Знание; общее, научное.

Вещество; три состояния, молекулярная теория. Масса, вес, объем.

Метрическая система; единицы измерения, таблицы, эквиваленты, преимущества.

Свидетельства молекулярного движения; газы (3), жидкости (5), твердые тела (3).

Свидетельства молекулярных сил; жидкости (3), твердые тела (многие) особые свойства, такие как: эластичность, прочность, пластичность, твердость и т. д.

Закон Гука; применение.

ГЛАВА III

МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ

(1) Сила тяжести жидкостей

35. Давление жидкостей на поверхности. Вид большого корабля, возможно построенного из железа и плавающего на воде, заставляет удивляться силе, которая его поддерживает. Эта же сила замечается, когда кто-то толкает легкий предмет, например пробку, под воду. В таком случае совершенно очевидно, что существует сила, достаточная для преодоления веса пробки, так что она стремится подняться на поверхность. Даже вес наших тел настолько поддерживается водой, что многие люди могут плавать.

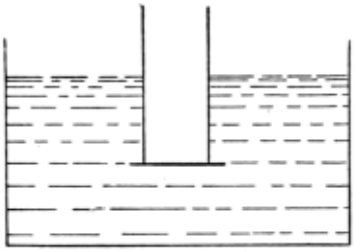


Fig. 17.—Water forces the card against the chimney.

Рис. 17. Вода прижимает карточку к дымоходу.

Следующий эксперимент позволяет проверить эту силу:

Если опустить пустую банку в воду, мы сразу почувствуем силу жидкости, действующую на объект и стремящуюся подтолкнуть его вверх. Можно также заметить, что пока банка не погружена в воду полностью, чем глубже она погружается, тем больше сила, с которой жидкость подталкивает ее вверх.

Мы можем проверить это действие различными способами: простым способом является взять цилиндрическую трубу лампы, прижать карточку к ее нижнему концу и поместить ее в воду в вертикальном положении. Сила воды будет крепко удерживать карточку у конца трубы. (См. рис. 17.) Величину силы можно проверить, бросая дробь в трубу, пока карточка не упадет. На большей глубине потребуется больше дроби, что показывает, что сила воды увеличивается с глубиной. Или можно налить воду в колбу. Тогда будет обнаружено ( ), что карточка не упадет, пока уровень воды внутри колбы не станет таким же, как снаружи. То есть, прежде чем карточка упадет, вода внутри колбы должна подняться на такую же высоту, как снаружи, независимо от того, на какую глубину нижний конец колбы погружен под поверхность воды.

36. Закон давления жидкости. — Поскольку в дымоходе, заполненном на глубину 10 см, содержится в два раза больше воды или дроби, чем в дымоходе, заполненном на глубину 5 см, сила, с которой вода давит на дно, должна быть в два раза больше на глубине 10 см, чем на глубине 5 см. Поскольку это рассуждение верно для сравнения сил на любых двух глубинах, мы получаем закон: *«Давление, оказываемое жидкостью, прямо пропорционально глубине»*.

Величина этой силы может быть рассчитана следующим образом: во-первых, карточка остается на конце трубки до тех пор, пока *вес* воды сверху не равен силе воды снизу, и, во-вторых, карточка остается до тех пор, пока вода внутри трубки не достигнет той же *высоты*,

что и снаружи. Теперь, если мы найдем вес воды на заданной глубине в трубке, мы можем определить силу воды снизу. Если, например, дымоход имеет площадь поперечного сечения 12 кв. см и заполнен водой на глубину 10 см, объем содержащейся в нем воды будет равен 120 куб. см. Этот объем воды будет весить 120 г. Это представляет собой не только вес воды в трубке, но и силу воды, действующую на дно. Аналогичным образом можно измерить силу воды, действующую на любую горизонтальную поверхность.

37. Сила и напор.— Теперь мы должны различать *силу* и *давление*. Давление относится к силе, действующей на *единицу площади*, в то время как сила относится к действию на всю поверхность. Так, например, атмосферное *давление* часто задается как 15 фунтов на квадратный дюйм или как один килограмм на квадратный сантиметр. С другой стороны, воздух может оказывать на ладони человека *силу* более 300 фунтов с каждой стороны; или большой корабль может поддерживаться *силой* в тысячи тонн, прилагаемой водой к днищу корабля.

На иллюстрации, приведенной в статье 36, направленное вверх *усилие* воды против конца трубки на глубине 10 см. рассчитывается как 120 грамм. *Давление* на *той же* глубине составит 10 грамм на квадратный сантиметр. Каким будет давление на глубине 20 см.? на глубине 50 см.? 100 см.? Сравните эти ответы с законом давления жидкости в статье 36.

38. Плотность.—Если бы в банке были другие жидкости, такие как спирт, ртуть и т.д., дымоход нужно было бы заполнить до того же уровня снаружи *той же* жидкостью, прежде чем карточка отвалилась бы. При этом учитывается фактор, который ранее не учитывался, - *масса*[B] *кубического сантиметра жидкости*. Это называется *плотностью* жидкости. Плотность алкоголя составляет 0,8 г на кубический сантиметр, ртути - 13,6 г на кубический сантиметр, а воды - 1 г на кубический сантиметр.

39. Сила воздействия жидкости на любую поверхность.—Чтобы найти силу, прилагаемую жидкостью к поверхности, мы должны принять во внимание площадь поверхности, а также высоту и **плотность** жидкости над поверхностью. Следует запомнить следующий закон и представляющую его формулу, которая кратко выражает принцип, по которому можно рассчитать силу, действующую жидкостью на любую поверхность:

Сила, которую жидкость оказывает на любую поверхность, равна площади поверхности, умноженной на ее среднюю глубину под поверхностью жидкости, умноженную на вес единицы объема жидкости.

Или, выраженный формулой, $F = Ahd$. В этой формуле "F" обозначает *силу, которую жидкость оказывает на любую поверхность*, "A" - *площадь поверхности*, "h" - *среднюю глубину (или высоту) давления жидкости на поверхность*, и "d" - *вес единицы объема жидкости*. Это первая иллюстрация в этом тексте использования формулы для представления закона. Обратите внимание, насколько точно и сжато закон выражен формулой. Однако, когда используется эта формула, мы должны иметь в виду выражаемый ею закон.

Мы должны помнить, что жидкость давит не только вниз и вверх, но и в стороны, как мы видим, когда вода бьется из отверстия в стенке сосуда. Эксперименты показали, что в определенной точке давление в жидкости одинаково во всех направлениях, следовательно, приведенное выше правило может быть применено к давлению жидкости на борт танка, лодки или другого объекта при условии, что мы точно определяем *среднюю глубину жидкости*; Следующий пример иллюстрирует использование закона.

Например: Если используется английская система, площадь поверхности должна быть выражена в квадратных футах, глубина - в футах, а вес жидкости - в фунтах на кубический фут. Один кубический фут воды весит 62,4 фунта.

Предположим, что коробка площадью 3 квадратных фута и глубиной 4 фута полна воды. Какая сила будет приложена водой ко дну и бортику?

Исходя из приведенного выше закона, сила воздействия жидкости на поверхность равна произведению *площади* поверхности, *глубины* жидкости и ее веса на единицу объема, или, используя формулу, $F = Ahd$. Чтобы вычислить направленную вниз силу, действующую на дно, у нас есть площадь 9, глубина 4 и вес 62,4 фунта. на кубический фут. 9 × 4 × 62,4 фунта. = 2246,4 фунта. Чтобы вычислить силу, действующую на борт, площадь равна 12, средняя глубина воды на бортике равна 2, вес 62,4, 12 × 2 × 62,4 фунта. = 1497,6 фунтов.

Важные темы

1. Жидкости оказывают давление; чем больше глубина, тем больше давление.

2. Разница между силой и давлением.

3. Правила определения силы, действующей на жидкость вверх и по горизонтали. $F = Ahd.$

4. Вес, масса, плотность.

Упражнения

1. Какова плотность воды?

2. Какая сила давит вверх на дно плоскодонки, если она имеет длину 60 футов, ширину 15 футов и погружается в воду на глубину 2 фута? Каков вес лодки?

3. Если груженое судно погружается в воду на среднюю глубину 20 футов, а площадь дна составляет 6000 кв. футов, какова сила подъема воды? Каков вес корабля?

4. Если это судно затонет всего на 10 футов. каков вес одного судна в пустом состоянии? Каков был вес груза в задаче 3?

5. Какова сила воздействия жидкости на одну стенку аквариума длиной 10 футов, глубиной 4 фута и заполненного водой?

6. Какова сила сжатия жидкости с одной стороны литрового куба, заполненного водой? Заполненного спиртом? Заполненного ртутью? Какая сила давит на дно в каждом конкретном случае?

7. На какой глубине воды давление составит 1 грамм на квадратный сантиметр? 10 грамм на квадратный сантиметр? 1000 г на квадратный сантиметр?

8. На какой глубине воды давление составит 1 фунт на квадратный дюйм? 10 фунтов на квадратный дюйм? 100 фунтов. на квадратный дюйм?

9. Какова будет сила, действующая на вертикальную дамбу длиной 30 метров при глубине воды 10 метров?

10. Люк площадью 100 кв. см. устанавливается на дне резервуара с водой глубиной 5 метров. Какую силу оказывает вода на люк?

11. Какова сила, действующая на дно конического резервуара, заполненного водой, диаметр дна которого составляет 3 метра, глубина - 1,5 метра?

12. Если бы в задаче 11 использовался спирт плотностью 0,8, какой была бы сила? Какой должна быть глубина залегания спирта, чтобы давление на дно было таким же, как в задаче 11?

13. Каково давление в фунтах на квадратный дюйм на глубине 1 мили в морской воде при плотности 1,026 грамма на куб. см?

14. Найдите силу, действующую на стенки и дно прямоугольной цистерны, наполненной водой, длиной 20 футов, шириной 10 футов и глубиной 10 футов?

15. Определите силу, действующую на дно резервуара для воды диаметром 14 футов при глубине 15 футов, когда он полон воды.

16. Определите силу, действующую на одну сторону резервуара глубиной 8 футов и площадью 10 квадратных футов, когда он заполнен водой.

17. Найдите силу, действующую на вертикальную плотину длиной 300 футов и высотой 10 футов при заполнении водой.

18. Найдите давление в нижней части плотины, о которой идет речь в вопросе 17.

19. Почему дамбы делаются толще внизу, чем вверху?

20. Глубина погружения корабля составляет 26 футов, *т.е.*его киль находится на глубине 26 футов под водой. Какова сила воздействия жидкости на поверхность киля площадью в квадратный фут? Найдите давление на дно.

(2) Передача давления жидкости

40. Принцип Паскаля.—Жидкости оказывают давление не только из-за своего собственного веса, но и в замкнутом пространстве могут передавать давление на значительные расстояния. Это общеизвестно везде, где есть система водоснабжения с подключением к домам, например, в городах. Передача давления жидкости имеет ряд важных применений. Принцип, лежащий в основе каждого из них, был впервые открыт Паскалем, французским ученым семнадцатого века. Так называемый принцип Паскаля можно проиллюстрировать следующим образом:

Предположим, что сосуд формы, показанной на рис. 18, верхняя часть которого, как мы можем предположить, имеет площадь 1 кв. см., наполнен водой до уровня AB. На каждый квадратный сантиметр площади будет оказываться давление в зависимости от глубины. Предположим, что высота AB над CD равна 10 см., тогда сила, действующая на 1 кв. см. CD, равна 10 г., или, если площадь CD равна 16 кв. см., на него действует сила 160 г.

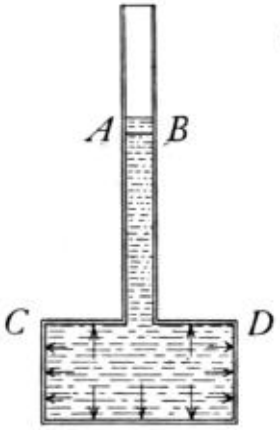


FIG. 18.—The force increases with the depth.

Рис. 18.—Сила увеличивается с увеличением глубины.

Если теперь на *AB* налить кубический сантиметр воды, то уровень поднимется на 1 см., или напор воды, оказывающий давление на *CD*, составит 11 см., или общее усилие в *CD* равно 16×11 г., *т.е.* Каждый квадратный сантиметр *CD* получает дополнительное усилие в 1 г. *Следовательно, сила, действующая на единицу площади при AB , передается на каждую единицу площади внутри судна.*

Обычная форма, в которой выражается этот закон, такова: *Давление, приложенное к любой части замкнутой жидкости, передается без изменений во всех направлениях и прилагает одинаковую силу ко всем равным поверхностям, контактирующим с жидкостью*.

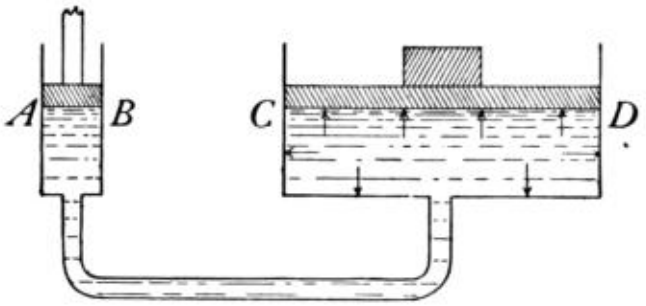


FIG. 19.—The force is proportional to the area.

Рис. 19.—Сила пропорциональна площади.

Важность этого принципа, как указывал сам Паскаль, заключается в том факте, что с его помощью мы можем воздействовать большим усилием на большую площадь, прикладывая небольшое усилие к небольшой площади ограниченной жидкости, причем обе области находятся в контакте с одной и той же жидкостью. Таким образом, на рис. 19 показано, что если площадь поверхности *CD* в 2000 раз превышает площадь поверхности *AB*, то 1 фунт, приложенный к жидкости на *AB*, приложит или выдержит усилие в 2000 фунтов. на *компакт-диске*.

41. Гидравлический пресс.—Важным применением принципа Паскаля является *гидравлический пресс*. См. рис. 20. Он используется для многих целей, где требуется большое усилие, например, при прессовании бумаги или ткани, извлечении масла из семян, подъеме тяжелых предметов и т.д. Многие старшеклассники сидели в *гидравлическом кресле,*

которым пользуются стоматологи или парикмахеры. Это кресло представляет собой модифицированный гидравлический пресс.

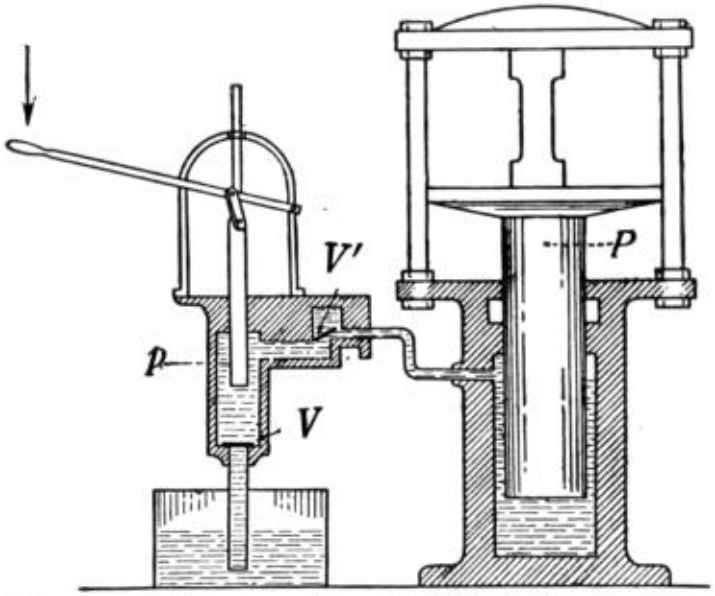


FIG. 20.—Cross-section of a hydraulic press.

Рис. 20.—Поперечное сечение гидравлического пресса.

Гидравлический пресс содержит два подвижных поршня, *P* и *p* (см. рис. 20). Больший из них, *P*, имеет площадь поперечного сечения, которая может быть в 100 или 1000 раз больше площади меньшего. Меньший поршень перемещается вверх и вниз с помощью рычага; при каждом движении вверх жидкость всасывается из резервуара, в то время как при каждом движении вниз часть жидкости попадает в пространство вокруг большого поршня. Клапаны на *V* и *V* предотвращают возврат жидкости. Если площадь *P* в 1000 раз больше площади *p*, то сила, действующая на *P*, в 1000 раз превышает силу, затрачиваемую на перемещение *p*. С другой стороны, поскольку жидкость, перемещаемая малым поршнем, распределяется по площади большого поршня, последний будет перемещаться только на 1/1000 расстояния от малого поршня. Связь между движениями двух поршней и прилагаемыми ими силами может быть кратко сформулирована следующим образом: *Движения* двух *поршней* гидравлического пресса обратно пропорциональны прилагаемым ими силам. С другой стороны, *площади поперечного сечения* двух поршней прямо пропорциональны прилагаемым ими силам.

Применение принципа Паскаля, часто используемого в городах, - это гидравлический лифт. В этом устройстве длинный плунжер или поршень проходит вниз из кабины лифта в цилиндр, погруженный в землю, иногда на глубину 300 футов. Вода, нагнетаемая в этот цилиндр, толкает поршень вверх, и когда вода выпускается из цилиндра, поршень опускается.

На рис. 21 представлена другая форма гидравлического лифта, в которой цилиндр и поршень находятся с одной стороны шахты лифта. В этом типе подъемника для подъема в цилиндр подается вода, толкающая поршень вниз.

42. Артезианские скважины.—Иногда пористый слой, содержащий воду в земной коре, имеет наклон. Затем, если есть непроницаемые слои (см. Рис. 22), как выше, так и ниже водоносного слоя, и последний выходит на поверхность, так что дождь может заполнить

его, скважина, погруженная в водоносный слой в точке, где он находится ниже поверхности, обычно дает артезианскую скважину, то есть такую, в которой вода поднимается к поверхности или выше нее. Многие из них встречаются в Соединенных Штатах.

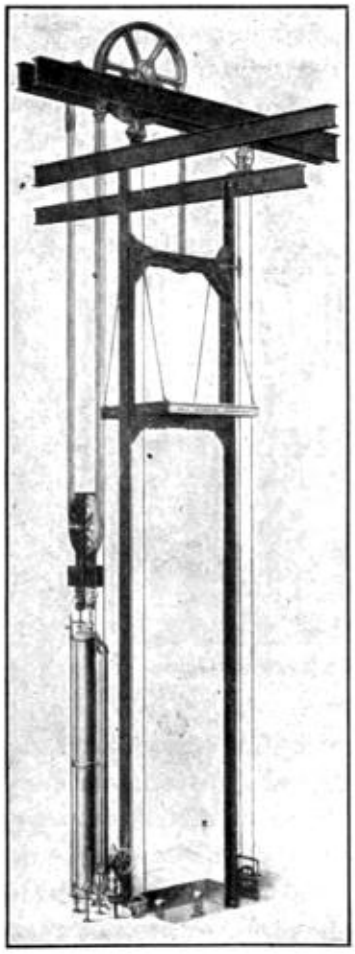


FIG. 21.—A hydraulic freight elevator.

Рис. 21.— Гидравлический грузовой лифт.

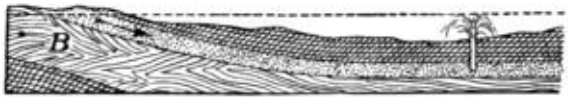


FIG. 22.—Conditions producing an artesian well.

Рис. 22.— Условия эксплуатации артезианской скважины.

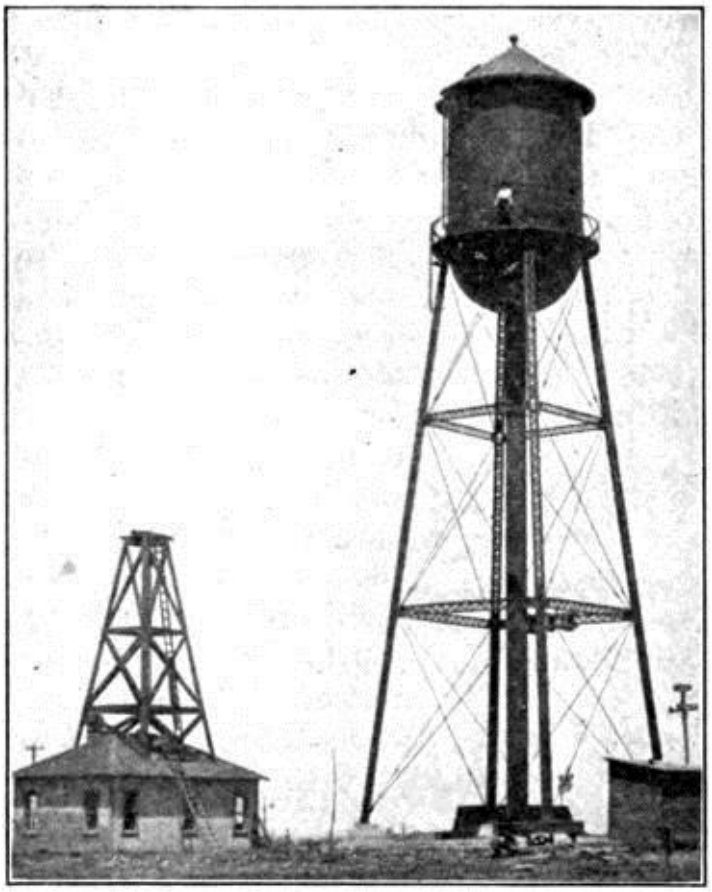


FIG. 23.—A standpipe.

Рис. 23.—Стояк.

43. Стояки и воздушные подушки.—Многие, кто жил в городах, где вода подается в дома под давлением, знают, что давление воды меняется, когда одновременно открываются несколько кранов. Опять же, если несколько человек используют шланг для полива, давление может быть уменьшено настолько, что его будет недостаточно для поднятия воды выше первого этажа. Чтобы обеспечить возможность внесения этих изменений, где-то в системе водопровода должна быть введена некоторая гибкость или пружина. Вода почти несжимаема, и если не использовать никаких средств для регулирования перепадов давления, внезапная остановка и запуск потока могли бы привести к серьезным пробоям и возникновению протечек в трубах. Двумя распространенными устройствами для контроля резких изменений давления воды являются *стояк* и *воздушная подушка*.

The *Стояк* - это просто большая вертикальная труба, подсоединенная к водопроводу, из которого легко вытекает вода. Когда открыто много кранов, уровень воды снижается; когда большинство кранов закрыты, уровень воды поднимается, обеспечивая простой автоматический контроль избытка воды и подачу воды на короткое время во время отключения насосов. Водостоки часто используются в городах. На рис. 23 показан водосток в Джероме, штат Айдахо.

The *Воздушная подушка* (рис. 24) представляет собой металлическую трубу или купол, заполненный воздухом, прикрепленный к водопроводу, где необходимо контролировать резкие изменения давления. На многих кранах городской системы водоснабжения используется такая воздушная подушка. Он содержит воздух; он, в отличие от воды, легко сжимается, и замкнутый воздух при внезапном закрытии крана постепенно всасывается и сдерживает приток воды в трубу. Даже при наличии воздушной подушки часто слышен

"стук" воды в трубе при внезапном закрытии крана. Если не были предусмотрены воздушные подушки, то в результате "гидравлического удара" трубы часто трескались или ломались.

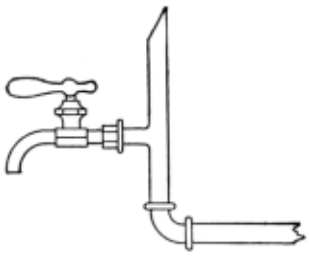


FIG. 24.—The short pipe above the faucet contains air forming an air cushion.

Рис. 24.— Короткая трубка над краном содержит воздух, образующий воздушную подушку.

Важные темы

1. Закон Паскаля.

2. Гидравлический пресс.

3. Артезианские скважины.

4. Стояки и воздушные подушки.

Упражнения

1. Где вы *видели* воздушную подушку? Опишите его и его использование.

2. Где вы *видели* гидравлический пресс? Зачем и как используется?

3. Где вы *видели* гидравлические лифты? Что их приводит в движение?

4. Откуда вы знаете о жидкостях под давлением? Три примера.

5. Каково давление в воде на глубине 1500 см. Выразить в граммах на квадратный сантиметр и в килограммах на квадратный сантиметр.

6. Какая заглавная[C] воды требуется для обеспечения давления 200 грамм на квадратный сантиметр? 2 кг. на квадратный сантиметр?

7. Какое *давление* будет создаваться "напором" воды в 20 метров?

8. Если 1728 кубических дюймов воды поместить в вертикальную трубу сечением 1 кв. дюйм, на какую высоту поднимется вода? Это дало бы сколько футов *головы*?

9. Сколько будет весить вода в задаче 8? Какое давление она будет создавать на дне, в фунтах на квадратный дюйм? Исходя из этого, вычислите, на сколько футов "напора" воды будет создаваться давление в 1 фунт на квадратный дюйм.

10. Используя результат задачи 9, какой "напор" воды создаст давление 10 фунтов. на квадратный дюйм? 100 фунтов. на квадратный дюйм?

11. Исходя из результата, полученного в 9, 100 футов "напора" воды будут создавать какое давление? 1000 футов "напора"?

12. Если диаметр поршня насоса в гидравлическом прессе составляет 2 см, а поршня пресса - 50 см. какова будет сила воздействия на последний, если первый будет опущен с усилием в 40 кг.?

(3) Принцип Архимеда

44. Тело, поддерживаемое жидкостью.—Среди приложений силы, оказываемой жидкостью на поверхность, принцип Архимеда является одним из наиболее важных.

Большинство людей отмечали, что тело, помещенное в воду, частично или полностью поддерживается силой воздействия на него воды. Ощущается, что камень, удерживаемый шнуром и опущенный в воду, принимает на себя часть своего веса, в то время как кусок пробки или дерева полностью поддерживается и плавает.

Человеческое тело почти полностью находится в воде, на самом деле, многие люди могут легко плавать в воде. Именно рассмотрение этого факта привело греческого философа Архимеда к открытию и формулированию принципа, описывающего поддержание тела в жидкости.

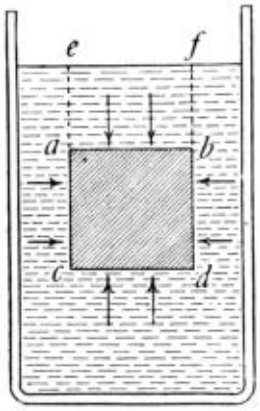


Fig. 25.—Theoretical proof of Archimedes' principle.

Рис. 25.—Теоретическое доказательство принципа Архимеда.

45. Принцип Архимеда.— "*Тело, погруженное в жидкость, выталкивается вверх силой, равной весу жидкости, которую оно вытесняет.*" Доказательство этого закона просто продемонстрировано. Предположим, что куб, *abcd*, погружен в воду (рис. 25). Направленная вверх сила, действующая на *cd*, равна весу водяного столба, равному *cdef*. (См. статью 39.) Направленная вниз сила, действующая на вершину куба, равна весу водяного столба *abef*. Тогда суммарная направленная вверх сила, действующая на куб, то есть направленная вверх сила, действующая на дно, за вычетом направленной вниз силы, действующей на верх, или выталкивающая сила, действующая на жидкость, в точности равна весу вытесненной воды *abcd*.

46. Закон плавающих тел.—Это же рассуждение может быть применено к любой жидкости и к любому телу, погруженному на любую глубину ниже поверхности жидкости. Если тело весит больше, чем вытесненная жидкость, оно утонет. Если он весит меньше вытесненной жидкости, он будет плавать или подниматься в воде. Деревянный брусок поднимается из воды, в которой он плавает, до тех пор, пока его собственный вес не сравняется с весом вытесняемой им воды. Отсюда мы получаем закон плавающих тел.

Плавающее тело вытесняет свой собственный вес жидкости, в которой оно плавает.

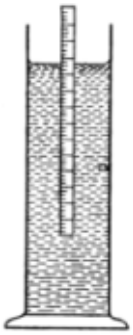


FIG. 26.—A floating body displaces its own weight of water.

Рис. 26. Плавающее тело вытесняет собственный вес воды.

Чтобы проверить закон движения плавающих тел, возьмите стержень из светлого дерева площадью 1 см и длиной 30 см (рис. 26). Просверлите один конец и заполните отверстие свинцом и заделайте парафином, чтобы стержень плавал вертикально, когда его опускают в воду. Отметьте на одной стороне стержня сантиметровую шкалу и окуните стержень в горячий парафин, чтобы сделать его водонепроницаемым. Теперь найдите вес палки в граммах и отметьте глубину, на которую она погружается в воду, в сантиметрах. Вычислите вес вытесненной воды. Это будет равно весу стержня.

47. Применение принципа Архимеда. Существует множество применений принципа Архимеда и закона плавающих тел.

(a) Как определить вес плавающего тела: задача.— Лодка длиной 20 футов и средней шириной 6 футов погружается в воду на среднюю глубину 3 фута. Определите вес лодки. Какой вес груза погрузит ее в среднем на глубину 5 футов?

Решение.—Объем вытесненной воды составляет 20 × 6 × 3 кубических фута = 360 кубических футов, поскольку 1 кубический фут воды весит 62,4 фунта, 360 × 62,4 фунта = 22 464 фунта, вес вытесненной воды. По закону плавающих тел это равно весу лодки. При загрузке объем вытесняемой воды составляет 20 × 6 × 5 футов. что равно 600 кубическим футам 600 × 62,4 фунта = 37 440 фунтам. Это вес воды, вытесненной при загрузке. 37 440 фунтов. - 22 464 фунта. = 14 976 фунтов., вес груза.

(b) Найти объем погруженного твердого тела: задача.— Камень весит 187,2 фунта. в воздухе и, кажется, весит 124,8 фунта. в воде. Каков его объем?

Решение.-187,2 фунта - 124,8 фунта = 62,4 фунта, выталкивающая сила воды. Согласно принципу Архимеда, это равно весу вытесненной воды, объем которой составляет 1 кубический фут, что, следовательно, равно объему камня.

(c) Чтобы найти плотность тела: Плотность тела определяется как масса единицы объема.

Мы можем легко определить массу тела, взвесив его, но объем часто невозможно определить с помощью измерений, особенно для твердых тел неправильной формы.

Принцип Архимеда, однако, обеспечивает метод точного определения объема тела путем взвешивания его сначала на воздухе, а затем в воде (рис. 27), при этом кажущаяся потеря веса равна весу вытесненной воды. Нужно только найти объем воды, имеющий тот же вес, что и потеря веса, чтобы определить объем тела.

Если используется метрическая система, то 1 куб. см воды весит 1 г, а объем численно равен потере веса.

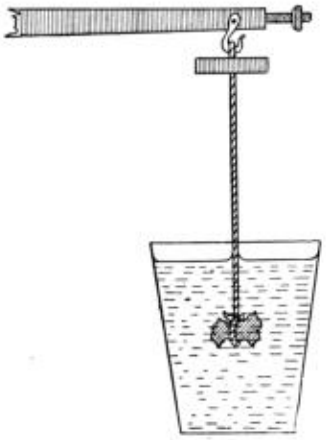


FIG. 27.—A method of weighing a body under water.

Рис. 27.—Способ взвешивания тела под водой.

Важные темы

1. Принцип Архимеда.

2. Закон плавающих тел.

3. Применение принципа Архимеда заключается в определении (а) веса плавающего тела; (б) объема погруженного твердого тела и (в) плотности тела.

Упражнения

1. Найдите историю Архимеда и короны. Напишите краткий отчет о ней.

2. Почему толстяку легче плавать в воде, чем худощавому?

3. Рыбу весом 1 фунт помещают в ведро с водой. Будет ли ведро и содержимое весить больше, чем до добавления рыбы? Почему?

4. Почему большой камень легче поднять под водой, чем на суше?

5. Почему пузырьки воздуха в спиртовом уровне перемещаются при поднятии или опускании одного конца прибора?

6. Почему мертвая рыба всегда всплывает?

7. Судно построено для использования в пресной воде. Как это повлияет на его ватерлинию при выходе в океан?

8. Почему маленькие насекомые могут ходить по воде, а крупные животные - нет?

9. Если объект весом 62,4 фунта просто плавает в воде, какой вес воды он вытесняет? Какой объем воды вытесняется? Каков объем тела?

10. Каков объем человека, который просто плавает в воде, если он весит 124,8 фунта? Если он весит 187,2 фунта?

11. Предмет весом 500 г. просто плавает в воде. Каков его объем? Сколько воды вытесняет плавающий деревянный брусок, если он весит 125 кг.? 125 г.? 2 кг.? 2000 кг.?

12. Насколько сильно утонет плоская лодка размером 10 × 40 футов, когда 10 лошадей весят по 1250 фунтов каждая. размещены ли они на борту?

13. Судно длиной 900 футов и средней шириной 80 футов погружается на среднюю глубину 25 футов. порожнее и 40 футов. загруженное. Каков вес судна и его груза?

14. Утонет или всплывет в воде блок объемом 1000 куб. см, если он весит 800 г.? Если он весит 1200 г.? Объясните.

15. Если металлический блок объемом 1000 куб. см весом 1200 г поместить в воду посреди океана, что с ним будет?

16. Докажите принцип Архимеда, используя принципы давления жидкости.

17. Камень неправильной формы плотностью 2,5 г на кубический сантиметр вытесняет 2 кубических фута воды. Каков его вес? Его кажущийся вес в воде?

18. Изменится ли глубина погружения судна в воду по мере выхода из озера Онтарио в Атлантический океан? Почему?

19. Если плотность морской воды составляет 1,0269 г на кубический сантиметр, а льда - 0,918 г на кубический сантиметр, то какая часть айсберга находится над водой?

20. Почему при извлечении воды из колодца с помощью ведра затрачивается меньше усилий, когда колодец находится под водой, чем когда он полностью над водой?

21. Камень весом 300 фунтов. его можно поднять под водой с усилием 150 фунтов. Каков объем камня?

22. Средняя плотность человеческого тела составляет 1,07 грамма на квадратный дюйм. Сколько воды вытеснит человек весом 150 фунтов. при погружении? Сколько при плавании?

(4) Плотность и удельный вес

48. Плотность.—Плотность вещества часто используется в качестве критерия его чистоты. Архимед, испытывая корону короля Иеронима, чтобы выяснить, сделана ли она из чистого золота, сначала определил ее плотность. Именно с помощью таких тестов часто определяют чистоту молока, спирта, золота и множества других веществ.

Знание методов определения плотности имеет ценность для всех и должно быть включено в обучение каждого учащегося. *Плотность вещества - это масса единицы объема вещества.* В метрической системе, например, плотность вещества - это масса в граммах на 1 куб. см. Берем воду, 1 куб. см. весит 1 гр. или, следовательно, его плотность равна 1 гр. на кубический сантиметр. Кубический сантиметр алюминия весит 2,7 г. Таким образом, его плотность составляет 2,7 г на кубический сантиметр.

49. Удельный вес.—*Удельный вес - это отношение веса любого объема вещества к весу равного объема воды.* Его значение не совсем совпадает с значением плотности, поскольку удельный вес всегда является *отношением*, *т.е.*, *абстрактным* числом, равным 2,7. Плотность вещества - это *конкретное* число, равное 2,7 грамма на кубический сантиметр. В метрической системе плотность воды составляет один грамм на кубический сантиметр, следовательно, мы имеем:

Плотность (г на куб. см) = (численно) удельный вес.

В английской системе плотность воды составляет 62,4 фунта на кубический фут, следовательно, в этой системе мы имеем:

Плотность (фунтов на кубический фут) = (численно) 62,4 × сп. гр.

50. Методы определения плотности и удельного веса

a) Обычные твердые тела.— Твердые тела правильной формы, такие как кубы, сферы и т.д., объемы которых можно легко определить путем измерения, могут быть взвешены. Масса, деленная на объем, дает плотность, или $D = M\mu/v$.

(b) Твердые тела неправильной формы.— для них объем не может быть определен путем измерения, но может быть получен с помощью принципа Архимеда. Взвесьте твердое вещество сначала на воздухе, а затем в воде. Кажущаяся потеря веса равна весу вытесненного равного объема воды. Исходя из этого, можно определить объем. И тогда плотность равна массе / объему; удельный вес =

вес в воздухе / вес равного объема воды = вес в воздухе / ((вес в воздухе) - (вес в воде))

(c) Твердые вещества легче воды.—Для удержания тела под водой потребуется грузило. Взвесьте твердое вещество на воздухе (*вес*). Взвесьте грузило в воде (*s*). Прикрепите грузило к основанию и взвесьте оба в воде (w). Удельный вес равен

(масса твердого вещества в воздухе)/(потеря массы твердого вещества в воде) или
вт/((вт + с) - вт)

Кажущаяся потеря веса твердого вещества равна сумме его веса в воздухе плюс веса грузила в воде, за вычетом суммарного веса обоих в воде.

(d) Плотность жидкости с помощью ареометра.—Также можно легко определить плотность любой жидкости по принципу Архимеда. Если взять стержень, описанный в статье 46, и опустить его в воду, то количество кубических сантиметров воды, которое он вытесняет, указывает на его вес в граммах. Если поместить стержень в другую жидкость, в которой он плавает, он, конечно, сместит свой собственный вес, и высота, на которую жидкость поднимается на весах, определяет объем. Разделив *вес* стержня, определяемый его положением в *воде* by the *volume* of the *liquid*, мы получаем плотность жидкости. Коммерческие ареометры для определения плотности молока, спирта и других жидкостей изготавливаются из стекла формы, показанной на рис. 28. Длинный узкий стержень позволяет заметить небольшие различия в объеме, следовательно, они более точны, чем стержень, описанный в предыдущем параграфе. Для удобства этот стержень снабжен бумажной шкалой, так что при измерении высоты жидкости на стержне сразу считывается плотность.

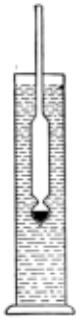


FIG. 28.—A hydrometer used to find the density of a liquid.

Рис. 28.—ареометр, используемый для определения плотности жидкости.

Плотность жидкостей за счет потери веса. Взвесьте кусочек стекла на воздухе (*вес*$_a$), в воде (*вес*$_w$) и в тестируемой жидкости (*вес*$_л$).

Затем ($Ж_A$ - $Ж_ж$)дает вес воды, вытесненной.

И (W_a - W_l) дает вес вытесненной жидкости.

Следовательно, (W_a - W_l)/(W_a - W_w) равно удельному весу жидкости.

Важные темы

1. Определения плотности и удельного веса.

2. Методы определения плотности: (a) обычные твердые вещества; (b) неправильные твердые вещества; (c) твердые вещества легче воды; (d) жидкости с помощью ареометра; (e) жидкости с потерей веса.

Упражнения

Примечание.— Учтите, что 1 куб. фут воды весит 62,4 фунта. Учтите, что 1 куб. см воды весит 1 г.

1. Что подразумевается под утверждением, что брусок дерева имеет удельный вес 0,6?

2. Учитывая, что плотность человеческого тела такая же, как у воды, каков объем мальчика весом 125 фунтов? Мужчины весом 250 фунтов? Мальчика весом 62,4 фунта? Каков объем вашего тела?

3. Как определяется вес крупных судов? Приведите пример.

4. Упомяните три случая, когда важны определения плотности.

5. Тело весит 40 г в воздухе, 15 г в воде, 5 г в кислоте. Найдите (а) плотность тела; (б) его объем; (в) плотность кислоты.

6. Если удельный вес лошади равен 1, то каков объем лошади весом 500 кг.? Одной лошади весом 1248 фунтов.?

7. Утяжеленный деревянный ящик погружают на глубину 20 см в воду и 24 см в спирт, а также на глубину 18 см в рассол. Какова плотность спирта и рассола?

8. Стеклянная пробка весит на воздухе 25 г, в воде 15 г, в масле 18 г. Найдите плотность и объем пробки. Найдите плотность масла.

9. Сколько бы весил кубический фут древесины, если бы ее удельный вес составлял 0,5?

10. Удельный вес алюминия равен 2,7. Найдите его вес в кубическом футе.

11. Деревянный брусок весит 40 г. Кусок свинца в воде весит 70 г. То и другое вместе в воде весит 60 г. Найдите плотность древесины.

12. Камень весит 30 г на воздухе, 22 г в воде и 20 г в соленой воде. Найдите плотность соленой воды.

13. Утонет ли железо в ртути? Почему?

14. Какой объем должна иметь подводная лодка весом 200 тонн, чтобы плавать?

15. Определите вес 2 кубических футов меди по ее плотности.

16. Каков вес в воде массы, удельный вес которой равен 3,3, а вес - 50 кг.?

17. Гранитная глыба весит 1656 фунтов; ее объем составляет 10 кубических футов, какова ее плотность?

18. Если удельный вес каменного угля равен 1,75, как бы вы определили, сколько тонн угля вмещает бункер?

19. Полый медный шарик весит 2 кг. Каким должен быть его объем, чтобы он мог просто плавать в воде?

20. Масса объемом 100 куб. м и удельным весом 2,67 прикрепляется к 200 куб. м древесины с удельным весом 0,55. Сколько будет весить эта комбинация в воде?

21. Блок весом 4 унции в воздухе привязан к грузилу, которое в воде весит 14 унций. И то, и другое вместе весит 6 унций. в воде. Каков удельный вес блока?

ГЛАВА IV

МЕХАНИКА ГАЗОВ

(1) Вес и давление воздуха

51. Вес воздуха.— Говорят, что дикари не подозревают о присутствии *воздуха*. Они чувствуют *ветер*, слышат и видят, как он шевелит листья и ветви деревьев, но о самом воздухе они имеют слабое представление.

Обычному наблюдателю кажется, что он не имеет веса и оказывает небольшое сопротивление телам, проходящим через него. То, что он имеет вес, легко показать следующим образом: (см. рис. 29.) Если взвешивать полый металлический шар или стеклянную колбу, снабженную трубкой и запорным краном, при открытом запорном кране, а затем после выпуска из него воздуха воздушным насосом, заметна определенная потеря веса.

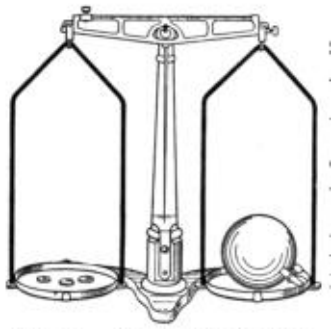


Fig. 29.—Proof that air has weight.

Рис. 29. Доказательство того, что воздух имеет вес.

Если известен объем сферы и из нее хорошо выпущен воздух, то можно получить точное приближение к весу воздуха. В "*стандартных условиях*", что означает *при температуре замерзания* и барометрическом давлении 76 см, литр воздуха весит 1,293 г. В то время как 12 кубических футов воздуха весят примерно 1 фунт.

52. Давление воздуха.—Поскольку воздух имеет вес, можно предположить, что он оказывает давление подобно жидкости. То, что это происходит, может быть показано различными способами.

Если поршень, плотно вставленный в стеклянный цилиндр, вытянуть вверх, пока нижний конец трубки находится под водой, вода в трубке поднимется (рис. 30). Общепринятое объяснение этого заключается в том, что вода поднимается из-за "всасывания". Философы древних греков объясняли это тем, что "природа не терпит вакуума", и поэтому вода поднимается. Ни одно из объяснений не является правильным. В 1640 году было обнаружено, что вода в насосе не поднимается более чем на 32 фута, несмотря на то, что над водой поддерживается вакуум. За объяснением обратились к Галилею. Он сказал: "Очевидно, ужас природы перед вакуумом не простирается выше 32 футов". Галилей начал испытания "силы вакуума", но, умирая, оставил своего ученика Торричелли продолжать эксперимент. Торричелли рассудил, что если уровень воды поднимется на 32 фута, то ртуть, которая в 13,6 раза плотнее воды, поднимется примерно на 1/13 больше. Чтобы проверить это, он провел следующий знаменитый эксперимент.

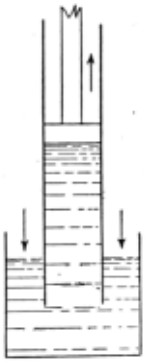


FIG. 30.—Air pressure forces the liquid up the tube.

Рис. 30.— Давление воздуха выталкивает жидкость вверх по трубке.

53. Эксперимент Торричелли (1643).— Возьмите стеклянную трубку длиной около 3 футов, запечатанную с одного конца, и наполните ее ртутью. Закройте конец пальцем и переверните, поместив конец, закрытый пальцем, под ртуть в чашке (рис. 31). Удалите палец, и ртуть опустится до тех пор, пока верхняя часть ртути не достигнет примерно 30 дюймов. выше уровня ртути в чашке. Торричелли пришел к выводу, что подъем жидкости в выпускных трубках происходит из-за давления атмосферы, действующего на поверхность ртути в чашке.

Чтобы проверить это, поместите пробирку с ртутью на пластину воздушного насоса и наденьте на аппарат стеклянную банку с трубками так, чтобы трубка выступала через плотно прилегающую пробку. (См. рис. 32.) Если причиной повышения содержания ртути в пробирке является давление воздуха, то при удалении воздуха из колпака ртуть должна попасть в пробирку. Видно, что это происходит сразу после запуска насоса. Трудно удалить весь воздух из ресивера, поэтому уровень ртути в трубке редко достигает того же уровня, что и в чашке. Небольшая трубка, содержащая ртуть, часто присоединяется к воздушным насосам для индикации степени разряда. Такие трубки называются *манометрами*.

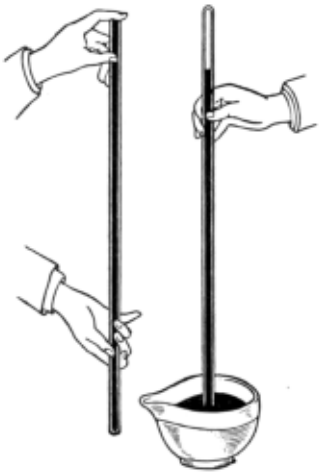


FIG. 31.—Torricelli's experiment.

FIG. 32.—The mercury drops as the air is removed.

Рис. 31.— Эксперимент Торричелли.
Рис. 32.— Ртуть выпадает при удалении воздуха.

54. Величина атмосферного давления.— Эксперимент Торричелли позволяет нам легко вычислить атмосферное давление, поскольку именно атмосферное давление уравновешивает столбик ртути в трубке. Согласно закону Паскаля, давление атмосферы на

поверхность ртути в чашке передается как точно равное давление на ртутный столбик в трубке на том же уровне, что и ртуть снаружи.

Это давление, создаваемое воздухом, должно уравновешивать вес столбика ртути в трубке. Следовательно, оно равно весу столбика ртути единичного поперечного сечения. Средняя высота ртутного столба на уровне моря составляет 76 см. Поскольку вес 1 куб. см ртути составляет 13,6 грамма, давление внутри трубки на уровне поверхности ртути в чашке равно 1 ×76 × 13,6 или 1033,6 г на квадратный сантиметр. Следовательно, *атмосферное давление* на поверхности ртути в чашке составляет 1033,6 г на квадратный сантиметр, что составляет приблизительно *1 кг. на квадратный сантиметр или 15 фунтов. на квадратный дюйм*.

55. Эксперимент Паскаля.—Паскаль проверил другим способом действие атмосферного давления на ртутный столб, попросив своего шурина Перье, который жил недалеко от горы, провести эксперимент на ее вершине. Перье обнаружил, что при подъеме на 1000 метров уровень ртути в трубке упал на 8 см. Путешественники, геодезисты и авиаторы часто определяют высоту над уровнем моря по показаниям барометра: подъем на 11 метров дает падение примерно на 1 мм ртутного столба, или 0,1 дюйма. за каждые 90 футов подъема.

FIG. 33.—A standard barometer.

Рис. 33.—Стандартный барометр.

56. Барометр.—Современный барометр (рис. 33) состоит из правильно установленной торричеллиевой трубки. Считывание показаний барометра заключается в точном измерении высоты ртутного столба. Эта высота варьируется от 75 до 76,5 см. или от 29 до

30 дюймов. в населенных пунктах, расположенных недалеко от уровня моря. Атмосферное давление меняется из-за возмущений в атмосфере. Обнаружено, что эти возмущения атмосферы проходят по всей стране с запада на восток довольно регулярным образом, следовательно, серия показаний барометра может дать достоверную информацию о движении этих возмущений и, таким образом, помочь в прогнозировании погоды. Бюро погоды располагает данными наблюдений, сделанных в одно и то же время на различных станциях по всей стране. Эти наблюдения составляют основу для ежедневного прогноза погоды.

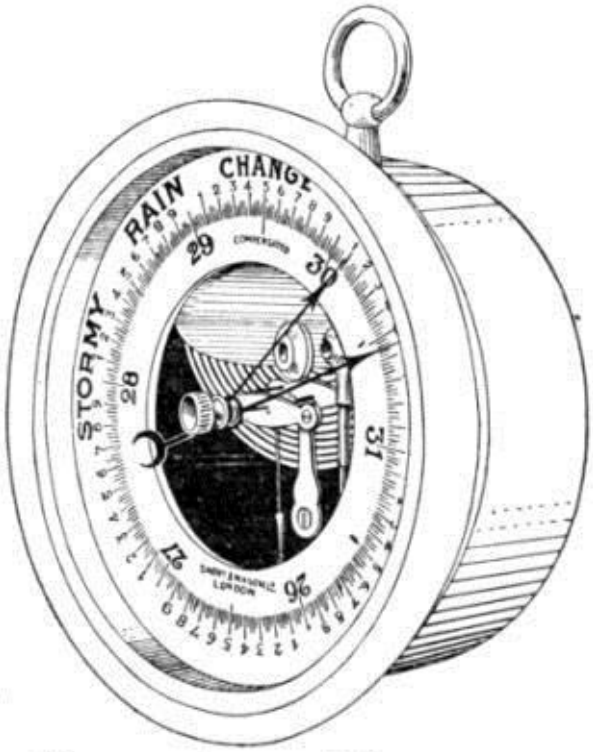


FIG. 34.—An aneroid barometer

Рис. 34.— Барометр-анероид

Другой широко используемой формой барометра является *барометр-анероид* (рис. 34). Его основными частями являются цилиндрическая герметичная коробка с эластичной гофрированной крышкой. Внутри коробки создается частичный вакуум. Это делает крышку очень чувствительной к небольшим изменениям давления. Движение верхней части коробки передается рядом рычагов указывающей стрелке, которая перемещается по циферблату. Этотбарометр можно сделать настолько чувствительным, чтобы он показывал изменение давления воздуха от столешницы к полу. Им часто пользуются путешественники, исследователи, геодезические группы и авиаторы, поскольку ртутный барометр неудобно носить с собой.

Важные темы

1. *Вес* и *давление* воздуха в английских и метрических единицах. Как показано. Доказательства.

2. Работы Галилея, Торричелли и Перье.

3. Барометр: конструкция, действие, ртутный, анероидный.

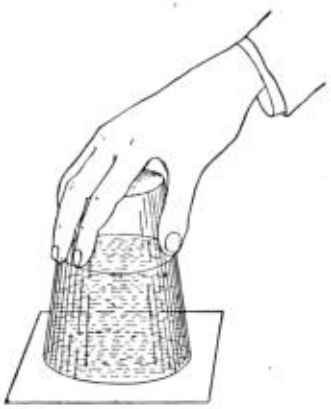


FIG. 35.—Air pressure keeps the water in the tumbler.

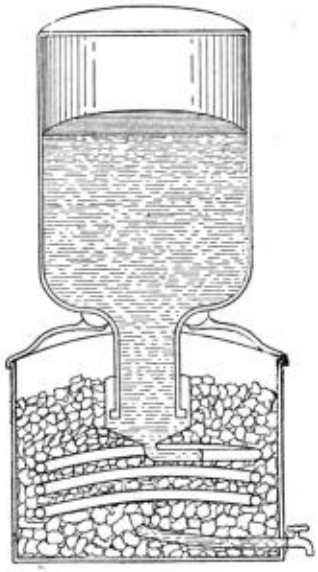


FIG. 36.—Cross-section of a modern drinking fountain.

Рис. 35.—Давление воздуха удерживает воду в стакане.
Рис. 36.Поперечное сечение современного питьевого фонтанчика.

Упражнения

1. Как вы думаете, применим ли принцип Архимеда к воздуху? Применим ли закон Паскаля? Почему?

2. Найдите понижающее давление ртути в трубке барометра, если поперечное сечение составляет 1 кв. см, а высота 75 см на уровне поверхности ртути, соприкасающейся с воздухом. (Плотность ртути составляет 13,6 грамма на куб. см.)

3. Каков вес воздуха в помещении, если оно имеет размер 10 × 8 × 4 метра?

4. Какой вес воздуха в помещении размером 10 × 15 × 10 футов?

5. Когда дым поднимается по прямой из труб, указывает ли это на высокое или низкое атмосферное давление? Почему?

6. Почему стакан, наполненный водой и перевернутый в посуде так, чтобы его край был под водой, остается полным?

7. Если трубка барометра наклонена, ртуть остается на том же горизонтальном уровне. Как это можно объяснить?

8. Когда ртутный барометр показывает 76 см., на какой высоте должен находиться водяной барометр? Объясните.

9. Объясните, почему можно сосать газированную воду через трубку?

10. Наполните стакан водой. Положите сверху лист бумаги и переверните. Бумага прилипает к стакану и предотвращает вытекание воды. Объясните. (См. рис. 35.)

11. Почему канистра для керосина должна иметь два отверстия, чтобы масло могло свободно вытекать?

12. Объясните действие современного питьевого фонтанчика (рис. 36).

(2) Сжимаемость и расширяемость воздуха

57. Влияние давления на жидкости и газы.—Оба класса жидкостей, жидкие и газообразные, имеют много общих характеристик. Оба состоят из молекул, которые свободно движутся; следовательно, оба *текут*. В любой точке жидкости *давление одинаково во всех направлениях*. Таким образом, принцип Архимеда применим как к жидкостям, так и к газам.

Теперь мы подходим к важному *различию* между жидкостями и газами. *Жидкости* являются *практически несжимаемыми*. "Настолько, что если воду подвергнуть давлению 3000 кг. на квадратный сантиметр, ее объем уменьшится лишь примерно на одну десятую". Газы при воздействии давления ведут себя совсем не так, как жидкости. Их можно легко сжать до небольшой доли их объема, как это видно при накачивании пневматической шины. Газ также обладает *способностью высвобождаться* в большем объеме, как только сбрасывается давление, например, при выбивании пробки из пневматического пистолета. Расширяться способен не только сжатый воздух, но и воздух в обычных условиях будет расширяться, если его выпустить в помещение с меньшим давлением.

Полые тела, животные и растения, не раздавливаются атмосферным давлением, потому что воздух и газы, содержащиеся внутри, оказывают наружу такое же усилие, какое воздух оказывает внутрь.

58. Закон Бойля.—Связь между объемом и давлением газа была впервые исследована Робертом Бойлем в семнадцатом веке. Эксперимент, с помощью которого он впервые открыл закон или связь между объемом и давлением газа, кратко описывается следующим образом:

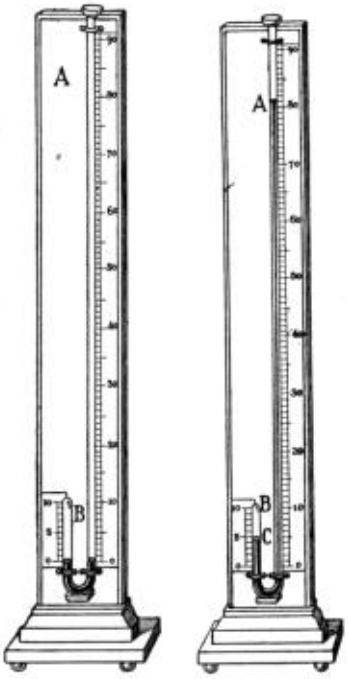


Fig. 37 *a*. Fig. 37 *b*.
Figs. 37 *a* and 37 *b*.—Boyle's law apparatus.

Рис. 37 *a* и 37 *b*.—Аппарат закона Бойля.

Стеклянную трубку сгибают в форме заглавной буквы J, короткий рукав закрывают. В нее наливают немного ртути, чтобы покрыть изгиб. (См. рис. 37 *a*.) Поскольку ртуть находится на *одинаковом уровне в обоих плечах*, давление в (*A*) такое же, как и в (*B*). Теперь ртуть

заливается в (*A*) до тех пор, пока она не встанет в длинной трубке на высоту, превышающую высоту, указанную в (B), которая равна высоте ртутного столба барометра. (См. рис. 37 *b*.) Воздух в (*г.до н.э.*) сейчас находится под давлением в две атмосферы (одна атмосфера приходится на ртутный столб). При измерении будет обнаружено, что объем воздуха в (*BC*) составляет всего половину от его первоначального объема.

Таким образом, удвоение давления, которому подвергается газ, уменьшает его объем наполовину. Утроение давления уменьшает объем до одной трети и так далее.

Тщательные эксперименты выявили следующий закон: *объем данной массы газа при постоянной температуре обратно пропорционален давлению, которому он подвергается*.

Этот закон часто выражается математически. $P/P = V/V$, или $PV = PV$. Поскольку удвоение давления уменьшает объем наполовину, это удваивает плотность. Утроение давления увеличивает плотность в три раза. Следовательно, мы имеем $P/P = D/D$ или плотность газа, прямо пропорциональную его давлению.

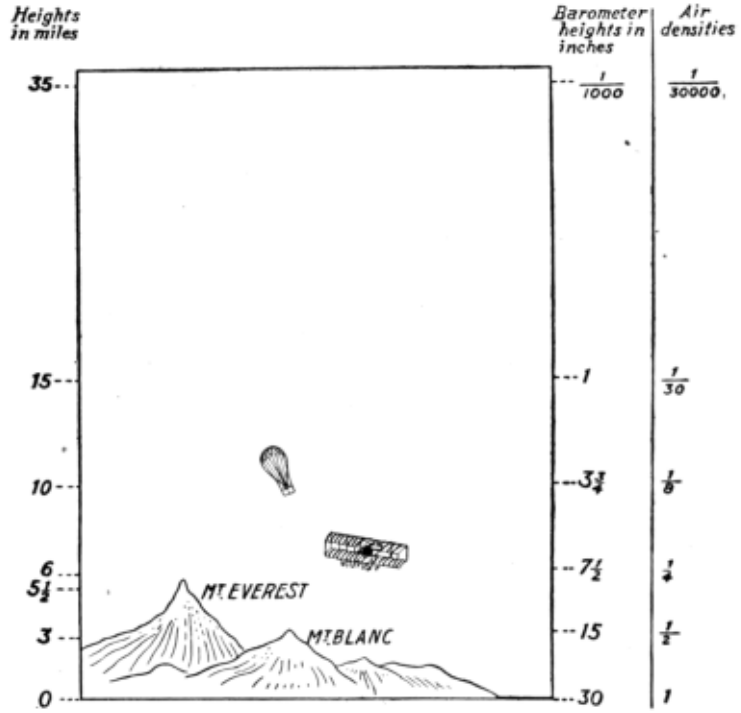


FIG. 38.—Height and density of the air.

Рис. 38.—Высота и плотность воздуха.

59. Высота атмосферы.—Благодаря своим свойствам *сжатия* и *расширения*, плотность и давление воздуха меняются по мере подъема в нем. На высоте 3 мили давление снижается примерно наполовину. Это указывает на то, что половина воздуха находится ниже этого уровня. Воздухоплаватели поднимались на высоту 7 миль: Глейзер и Коксвелл в Англии в 1862 году и Берсон во Франции в 1901 году. Атмосфера была исследована на высоте 30 500 метров (18,95 миль) путем отправки саморегистрирующихся барометров на маленьких воздушных шарах, которые лопаются на большой высоте. Парашют защищает приборы от поломки при слишком быстром падении. Эта высота в 30 500 метров была достигнута на воздушном шаре, отправленном Уильямом Р. Блэром в Гурон, Южная Дакота, 1 сентября 1910 года.

На высоте 35 миль плотность оценивается в 1/30 000 от ее значения на уровне моря. (См. рис. 38.) Считается, что некоторое количество разреженного воздуха существует на значительном расстоянии выше этой точки, по некоторым оценкам, протяженность составляет 100 миль, а по другим - от 200 до 500 миль. О наличии некоторого количества воздуха на таких высотах свидетельствуют: (а) высота, на которой впервые появляются метеоры, (б) высота северного сияния и (в) расстояние, на котором солнце находится за горизонтом, когда последние следы цвета исчезают с неба вечером.

Хотя точные границы атмосферы неизвестны, вес воздушного столба площадью 1 кв. см в поперечном сечении, простирающегося *вверх до уровня атмосферы*, может быть точно рассчитан. Ибо этот столб воздуха в точности уравновешивает столб ртути в трубке барометра.

Ниже уровня моря плотность воздуха быстро увеличивается, и подсчитано, что на глубине 35 миль плотность воздуха была бы в тысячу раз выше, чем у поверхности Земли, или больше, чем у воды.

Важные темы

1. Доказательства сжимаемости газов и несжимаемости жидкостей.

2. Закон Бойля. Доказательство, приложения.

3. Протяженность атмосферы —три свидетельства.

Упражнения

1. Приведите три примера сжимаемости и расширяемости воздуха, которые вы знаете по собственному опыту.

2. Повышение давления увеличивает количество газа, которое будет поглощено жидкостью? Объясните это. Вы когда-нибудь наблюдали этот факт? Где?

3. Если игрушечный воздушный шар, содержащий 2000 куб. см газа, на поверхности земли, где показания барометра составляют 76 см., поднимается на высоту, где барометр показывает 54 см., то до какого объема воздушный шар будет стремиться расширяться? Объясните. Достигнет ли он такого объема?

4. При сжатии газа его температура меняется. Как вы это объясните?

5. Какое изменение температуры произойдет, если позволить сжатому воздуху расширяться? Объясните.

6. Давление воздуха, поднимающегося по склону горы, уменьшается по мере приближения к вершине. Как это повлияет на температуру? Почему? К чему может привести такое изменение температуры? Объясни.

7. Какому давлению необходимо подвергнуть 500 куб. см воздуха, чтобы сжать его до 300 куб. см. сначала показание барометра составляет 75 см. Объясните.

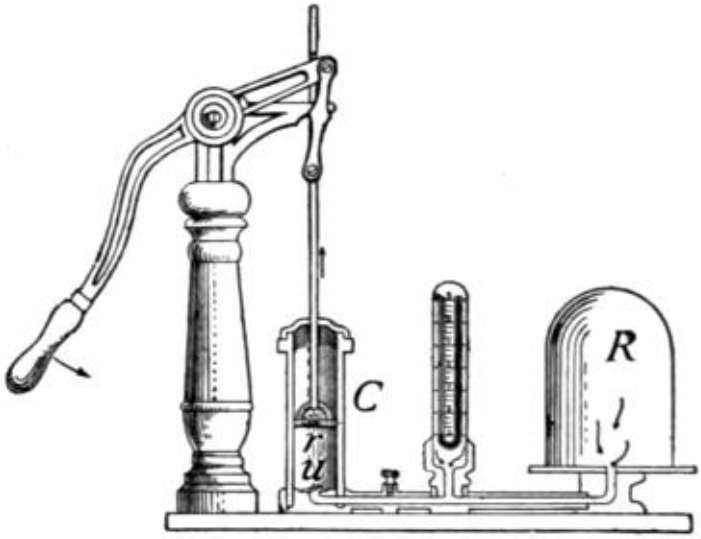


FIG. 39.—The air pump.

РИС. 39.—Воздушный насос.

(3) ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

60. Воздушный насос.— Воздушный насос используется для удаления воздуха или других газов из закрытого сосуда. Он был изобретен около 1650 года Отто фон Герике, бургомистром Магдебурга, Германия. Одна из форм воздушного насоса показана на рис. 39. *C* представляет собой цилиндр, внутри которого скользит плотно прилегающий поршень. *R* - сосуд, из которого должен быть выпущен воздух. *r* и *u* - клапаны, открывающиеся вверх. Действие насоса заключается в следующем:

При нажатии поршня вниз воздух в *C* сжимается. При этом открывается клапан *r*, позволяющий замкнутому воздуху выходить над поршнем. Затем поршень поднимается, создавая в пространстве *C* частичный вакуум. Давление в *R* теперь больше, чем в *C*, *u* выталкивается вверх, и воздух из *R* устремляется в *C*, пока давление не выровняется. При повторном нажатии на поршень клапан *u* закрывается, и процесс повторяется до тех пор, пока давление в *R* не перестанет поднимать клапан *u*. Некоторые воздушные насосы сконструированы таким образом, что клапаны открываются и закрываются автоматически движением поршня. С помощью этих насосов можно добиться более высокой степени разрежения.

Воздух часто частично выпускается из ресиверов или емкостей с помощью фильтрующего насоса или *аспиратора*. Поток воды, протекающий через сужение, создает пониженное давление, втягивает воздух и уносит его, создавая таким образом частичный вакуум. Часть устройства приведена на рис. 40.

FIG. 40.—An aspirator.

Рис. 40.—аспиратор.

61. Конденсационный насос.— Это похоже на выпускной насос, за исключением того, что его клапаны обращены вспять. Он используется для сжатия осветительных газов в баллоны для использования в осветительных приборах, стереоптиконах, фонарях Пинча, газосветных буях и т.д., А также для сжатия воздуха для приведения в действие пневматических тормозов, пневматических молотков и дрелей и для других целей.

Обычный конденсационный насос используется для накачивания шин. (См. рис. 41.) В этом случае неплотно прилегающий металлический поршень прикреплен к кожаному диску, несколько большему, чем цилиндр. Это устройство называется *чашечным клапаном*. При подъеме поршня воздух устремляется сверху мимо клапана, но при нажатии поршня вниз клапан плотно прижимается к стенкам цилиндра и предотвращает утечку воздуха. Сжатый воздух открывает клапан на шине и поступает в нее. Этот клапан закрывается, как только давление снаружи уменьшается. Следует отметить, что во всех этих насосах используются *два* клапана. Один удерживает уже поступивший воздух, в то время как другой открывается для новой подачи. Оба клапана никогда не открываются одновременно.

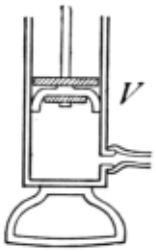


FIG. 41.—Condensing pump used in inflating tires.

Рис. 41.—Конденсационный насос, используемый для накачивания шин.

62. Водяные насосы.—Обычный подъемный насос. Этот простейший насос для подъема воды состоит из цилиндра C (рис. 42), соединенного трубой R с источником подачи воды в виде цистерны или колодца. Клапан, открывающийся вверх, расположен в нижней части цилиндра над входом в трубу. В цилиндре находится плотно прилегающий поршень, соединенный штоком с рычагом для удобства работы. Поршень содержит клапан, открывающийся вверх. При работе этого насоса воду обычно сначала заливают в цилиндр, чтобы "заправить" его. Это помогает закрыть клапаны и предотвращает утечку воздуха через них. Когда поршень опускается, нижний клапан закрывается, сжатый воздух в цилиндре открывает верхний клапан и проходит над поршнем. При подъеме поршня верхний клапан закрывается. При этом в цилиндре образуется частичный вакуум.

Воздух, оказывающий давление на поверхность воды внизу, выталкивает воду и воздух, которые могут находиться в трубке, вверх через нижний клапан, заполняя этот частичный вакуум.

Когда цилиндр наполняется водой, он поднимается при такте подъема, отсюда и его название - "подъемный насос". Поскольку атмосферное давление на уровне моря может поддерживать столб воды высотой всего около 34 футов, нижний клапан должен находиться на этом расстоянии от поверхности воды. На практике предел составляет около 27 футов. В более глубоких скважинах цилиндр и клапаны размещаются таким образом, чтобы они находились на расстоянии 25 или 27 футов от поверхности воды в скважине. Длинный поршневой шток, выступающий над поверхностью земли и соединенный с ручкой насоса, приводит в действие поршень. Выпускной патрубок проходит от цилиндра к поверхности земли над ним.

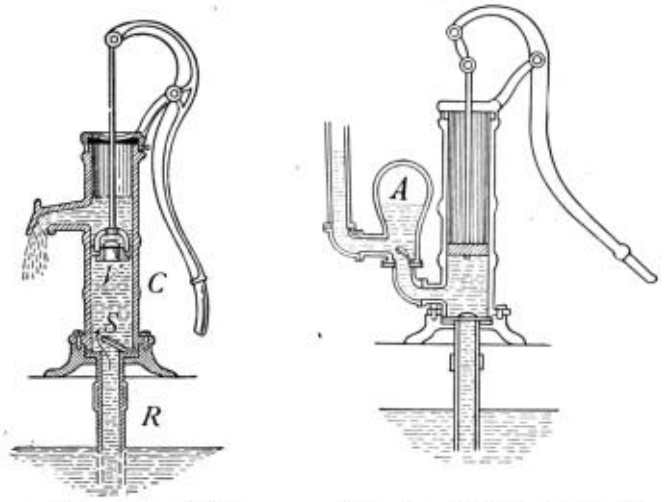


FIG. 42.—The common lift pump. FIG. 43.—A force pump with an air chamber (*A*)

Рис. 42.— Общий подъемный насос.
Рис. 43.— Силовой насос с воздушной камерой (*A*).

63. Силовой насос.— Силовой насос используется для подачи воды под давлением либо для распыления, либо в резервуар повышенной емкости. Поршень выполнен сплошным, второй клапан установлен на входе в выпускную трубу. (См. рис. 43.) Действие такое же, как у подъемного насоса, за этим исключением; поршень в своем нижнем ходе выталкивает воду через выпускную трубу, скорость которой зависит от оказываемого давления.

Нагнетательный насос обычно снабжен воздушной камерой, которая соединена с выпускным патрубком. При ходе поршня вниз вода нагнетается в воздушную камеру. При этом воздух, содержащийся в ней, сжимается. Сжатый воздух вступает в реакцию и оказывает давление на воду, вытесняя ее постоянным потоком.

Силовые насосы используются в глубоких скважинах и устанавливаются на дне.

Насосы, используемые на городских водопроводах, пожарных машинах и всех паровых насосах, являются нагнетательными. (См. рис. 44.)

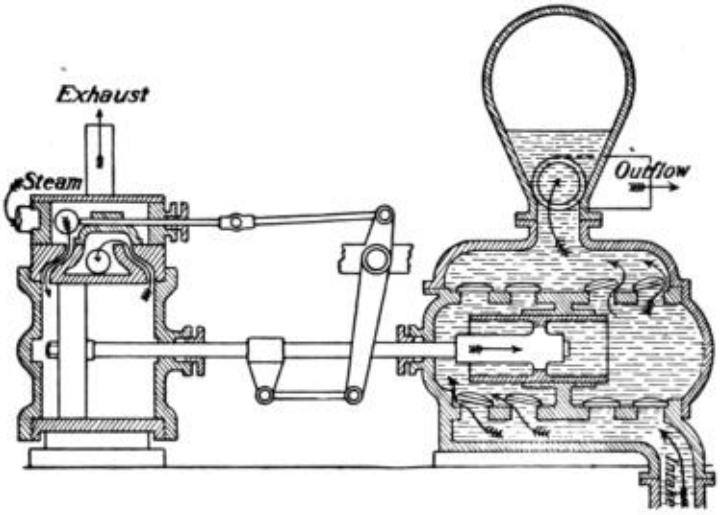


FIG. 44.—A steam pump used on a fire engine.

Рис. 44.— Паровой насос, используемый в пожарной машине.

64. Сифон.—Сифон - это трубка, используемая для перекачки жидкости с одного уровня по возвышенности на более низкий уровень под действием атмосферного давления. Он используется для удаления жидкостей из резервуаров или емкостей, у которых нет отверстия на дне.

Сифон нельзя полностью понять, пока не освоишь законы течения жидкостей. В качестве неполного объяснения его поведения предлагается следующее. Считайте, что сифон заполнен водой и закрыт в точке *d* (рис. 45). Атмосферное давление на *a* будет удерживать сифон полным, если *ab* не превышает 34 футов. Если *d* открыт, вода вытекает со скоростью, равной той, которая достигается при падении с уровня *a* до уровня *d*. Эту скорость приобретает вся вода в сифоне и приводит к падению давления во всем нем. Давление на *a* внутри сифона становится меньше, чем давление на том же уровне снаружи, как только вода начинает течь. Затем вода из сосуда поступает в сифон и выходит через *d*. Этот поток продолжается до тех пор, пока происходит падение воды со свободной поверхности в сосуде к выпускному отверстию в точке *d*.

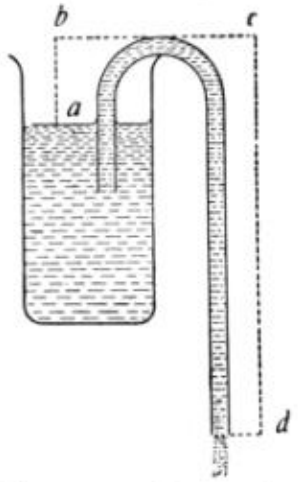


FIG. 45. — Cross-section of a siphon.

Рис. 45.— Поперечное сечение сифона.

FIG. 46.—The Cartesian diver.

Рис. 46.— Декартово отклонение.

65. Картезианский дайвер.— Это устройство, которое одновременно иллюстрирует передачу давления жидкостями, принцип Архимеда и сжимаемость газов. Он был изобретен Де Картесом (1596-1650). В обычном виде это полая стеклянная статуэтка с небольшим отверстием в основании. Он содержит воздух и воду в таких количествах, что средняя плотность изображения и содержимого немного меньше плотности воды. Он помещен в высокую стеклянную банку, наполненную водой, и накрыт плотно натянутой резиновой тканью. (См. рис. 46.) Надавливая на резиновый чехол, можно заставить ныряльщика утонуть, поскольку воздух и вода передают давление на чехол, который сжимает воздух внутри фигуры, пропуская в него немного воды, таким образом делая ныряльщика более плотным, чем вода. Изменяя давление, его можно заставить опускаться, подниматься или оставаться неподвижным по желанию.[D] Вместо изображения можно использовать небольшой флакон.

66. Гидравлический таран.— Гидравлический таран (см. рис. 47) представляет собой автоматическое устройство, которое широко используется для подъема воды из источников в дома, расположенные на возвышенностях. Вода течет по трубе *A* через отверстие в точке *B*. Давление закрывает клапан в точке *B*. Повышенное давление в трубе из-за закрытия *B* открывает клапан *C*, и часть воды поступает в воздушную камеру *D*. Это снижает давление на клапан *B*, так что оно падает и позволяет выйти небольшому количеству воды. Как только это происходит, клапан *C* закрывается. Затем давление в трубе перекрывает *B* и выталкивает воду через *C*. При постоянном повторении этого действия воздух в *D* сжимается настолько, что обладает достаточной силой упругости, чтобы поднимать воду постоянным потоком на высоту многих футов.

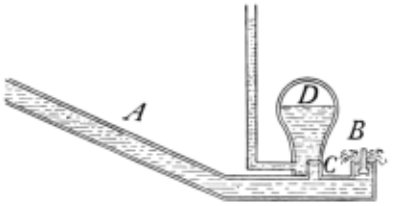


FIG. 47.—Cross-section of a hydraulic ram.

Рис. 47.— Поперечное сечение гидравлического тарана.

67. Воздушный шар.—Поскольку воздух - это жидкость, принцип Архимеда применим к нему так же, как и к жидкостям. Следовательно, любой предмет, находящийся в воздухе, поднимается силой, равной весу вытесняемого им воздуха. Объект поднимется, если он весит меньше этого вытесненного воздуха, и будет продолжать подниматься до тех пор, пока оба веса не сравняются.

Воздушный шар (рис. 48) поднимается, потому что он весит меньше, чем воздух, который он вытесняет, и поэтому его толкает вверх более тяжелый воздух, причем "подъемная сила" представляет собой разницу между его весом и весом вытесняемого воздуха. Горловина в нижней части остается открытой, чтобы обеспечить расширение газа. Когда аэронавт желает спуститься, он открывает клапан наверху, позволяя выйти части газа.

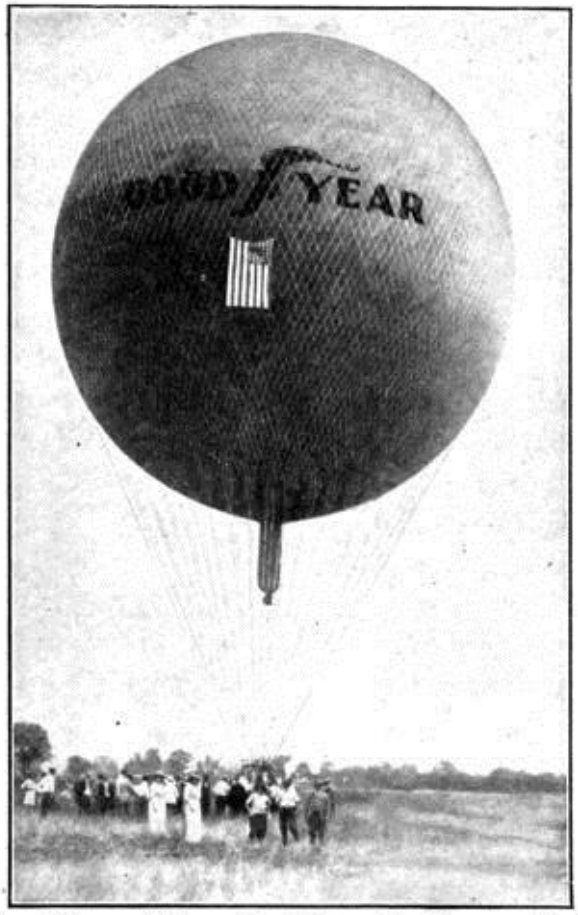


FIG. 48.—Winner of international championship race, Paris, 1913.

Рис. 48.— Победитель международной чемпионской гонки, Париж, 1913 год.

Водород - самый легкий газ, его масса составляет 0,09 кг. на кубический метр, и, таким образом, обеспечивает наибольшую подъемную силу, но поскольку его производство дорого, обычно используется угольный газ плотностью 0,75 кг. на кубический метр. Гелий недавно использовался для наполнения военных воздушных шаров, потому что его нельзя поджечь.

Парашют (рис. 49) представляет собой устройство в форме зонтика, предназначенное для спуска с воздушного шара. После падения через несколько секунд она открывается, большая поверхность подвергается воздействию воздуха, из-за чего она медленно опускается. Отверстие в верхней части удерживает парашют в вертикальном положении, позволяя воздуху выходить через него, тем самым снижая давление.

FIG. 49.—A parachute. **Рис. 49.—Парашют.**

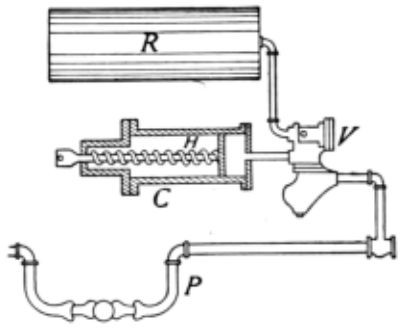


FIG. 50.—Cross-section of a Westinghouse air brake.

Рис. 50.—Поперечное сечение пневматического тормоза Westinghouse.

68. Пневматический тормоз.—Сжатый воздух используется для выполнения работ во многих машинах, таких как пневматические дрели, молотки и пневматические тормоза. Пневматический тормоз Westinghouse (рис. 50) использует воздух под давлением около 70 фунтов. на квадратный дюйм. Основными деталями, как показано, являются резервуар *R*, тормозной цилиндр *C* и тройной клапан *V*, расположенные под каждым автомобилем с воздушной трубкой *P*, ведущей к двигателю. Он соединен с *R* тройным клапаном *V*. Когда давление в *P* снижается инженером или случайно, тройной клапан работает таким образом, чтобы впускать воздух из *R* в цилиндр *C* толкая поршень *H* влево. *H* соединен с тормозами рычагами, которые сильно прижимают тормозные колодки к колесам. Когда давление воздуха в *P* восстанавливается, тройной клапан срабатывает таким образом, чтобы позволить воздуху выходить из *C*, в то время как *R* снова заполняется из *P*. Шипящий звук, слышимый при остановке поезда, вызван выходом воздуха из цилиндра *C*. Пружина в *C* удерживает тормоза на расстоянии от колес, за исключением случаев, когда "включен воздух".

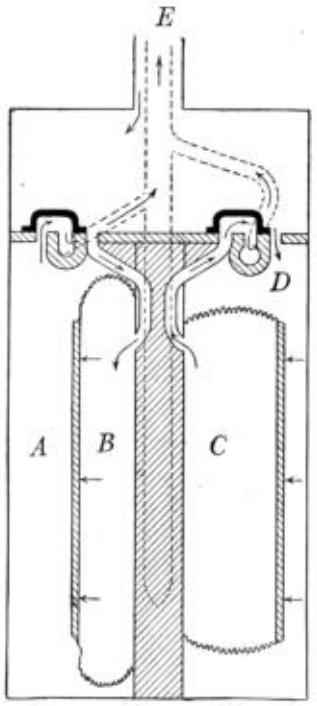


FIG. 51.—Cross-section of a gas meter showing its construction and action.

Рис. 51.—поперечный разрез газового счетчика, показывающий его конструкцию и действие.

69. Газовый счетчик.—Газовый счетчик состоит из коробки, разделенной вертикальной перегородкой на две части (рис. 51). К этой перегородке прикреплены два сильфона, по одному с каждой стороны. Клапаны, регулирующие подачу газа в сильфон и из него, а также в камеры *A* и *D*, открываются и закрываются рычагами, соединенными с сильфоном. Эти рычаги также управляют стрелками на циферблатах. Когда впускное отверстие сильфона *B* открыто, выпускное отверстие *A* также открыто. Газ, поступающий в *B*, открывает сильфон и выталкивает газ из *A* в внутреннюю трубу *E*. Когда *B* заполнен, его впускной клапан закрывается, а выпускной открывается. Входное отверстие *A* также открывается, а его выходное отверстие закрывается. Теперь газ поступает в *A*, сжимая сильфон и *B*, и выталкивает газ из него в внутреннюю трубу. При каждом заполнении сильфона *B* из *A* будет вытесняться и подаваться в внутреннюю трубу столько газа, сколько поступает в *B*. Очевидно, что при каждом опорожнении *B* равное количество газа поступает в *A*. Таким образом, мы имеем *A* и *B* попеременное заполнение и опорожнение, пока газовая горелка открыта. Для обеспечения непрерывного потока газа в доме необходимы две трубы и две камеры, одна из которых заполняется, а другая опорожняется.

На рис. 52 показаны циферблаты газового счетчика, показывающие значение 54 600 кубических футов.

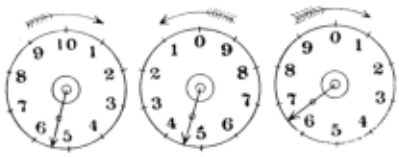


FIG. 52.—Dials of a gas meter.

Рис. 52.—Циферблаты газового счетчика.

70. Центробежные насосы. Жидкости, такие как вода и воздух, часто приводятся в движение устройствами, называемыми *центробежными насосами* (см. Статью 78). Эти

насосы содержат вращающуюся часть, подобную колесу без обода, спицы которого заменены тонкими лопастями. Эта вращающаяся деталь напоминает гребное колесо некоторых паровых лодок и заключена в футляр или крышку, имеющую одно отверстие на ободе и другое отверстие с одной стороны вокруг оси.

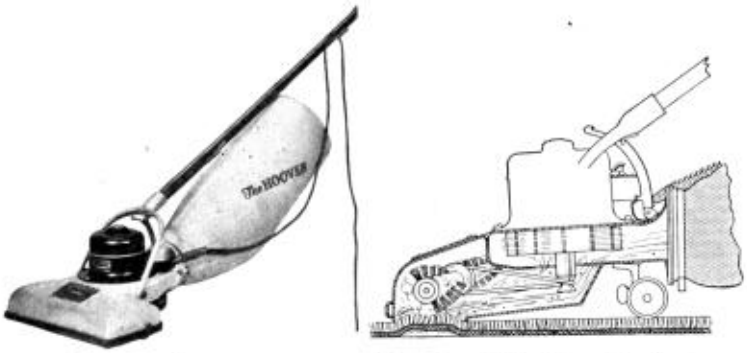


FIG. 53.—A vacuum sweeper. (*Courtesy of the Hoover Suction Sweeper Co.*)

Рис. 53.—Вакуумная уборочная машина. (*Любезно предоставлено компанией Hoover Suction Sweeper Co.*)

Когда колесо быстро вращается, жидкость со значительной силой выталкивается через отверстие на ободе, в то время как на оси создается частичный вакуум, вызывающий быстрый приток жидкости в устройство в этом месте.

В этом заключается принцип действия *пылесоса*. На рис. 53 показан участок пылесоса, показывающий вращающееся колесо и поток воздуха, проходящий в колесо с нижней стороны и выходящий из обода корпуса сзади.

Центробежные водяные насосы работают по тому же принципу и обеспечивают непрерывный поток воды, часто большого объема и под значительным давлением.

Важные темы

1. Воздушный насос.
2. Конденсационный насос.
3. Подъемные и нагнетательные насосы.
4. Сифон.
5. Декартово отклонение.
6. Гидравлический таран.
7. Воздушный шар.
8. Воздушный тормоз.
9. Газовый счетчик.
10. Пылесос.

Упражнения

1. Объясните, почему дым опускается на землю перед грозой.
2. Почему вода поднимается во всасывающей трубе насоса?

3. Почему легче плавать в воде, когда легкие наполнены воздухом, чем когда они не наполнены?

4. Почему в соленой воде плавать легче, чем в пресной?

5. Как подводные лодки устроены так, чтобы тонуть? чтобы подниматься на поверхность?

6. Как рыба может подниматься или тонуть в воде?

7. Объясните, почему спасательный круг из пробки позволяет человеку плавать.

8. Вытяните раскрытую ладонь, сведя пальцы вместе. Подложите под пальцы лист бумаги. Подуйте на бумагу между указательным и вторым пальцами. Пока вы сильно дуете, бумага не упадет, а будет прилипать к руке. Объясните.

9. Почему при нажатии на колбу распылителя жидкость выбрасывается мелкими брызгами?

10. Почему воздух, содержащий большое количество водяного пара, легче воздуха, содержащего лишь небольшое количество?

11. Как определяется высота над уровнем моря с помощью барометра?

12. Масло плавает в воде, но тонет в спирте. Объясните.

13. В баллоне нижний конец часто открыт для воздуха. Почему газ не выходит и не дает баллону подняться?

14. Как долго воздушный шар будет продолжать подниматься?

15. Если давление на 8-дюймовый поршень воздушного тормоза составляет 70 фунтов. какое усилие оказывает поршень на квадратный дюйм?

16. Вместимость воздушного шара составляет 40 000 кубических футов. Вес воздушного шара, автомобиля и т.д. Составляет 600 фунтов; удельный вес используемого газа равен 0,46 удельного веса воздуха. Найдите, какой вес может выдержать воздушный шар.

17. Так называемые магдебургские полусферы были изобретены Отто фон Герике из Магдебурга, Германия. Когда полусферы (см. рис. 54) соприкасаются и выпускается воздух, оказывается, что их очень трудно разъединить. Объясните.

18. Внутренний диаметр полушарий Фон Герике составлял 22 дюйма. Какая сила потребовалась бы, чтобы раздвинуть их, если бы из них вышел весь воздух? (Найдите атмосферную силу на окружности диаметром 22 дюйма. .)

19. Фон Герике изготовил водяной барометр, верхняя часть которого проходила сквозь крышу его дома. Поверх воды в трубе было помещено деревянное изображение. В хорошую погоду изображение появлялось над крышей, но опускалось перед бурей. Объясните.

20. Воздушный шар "Гудиер" (рис. 48), выигравший гонку международного чемпионата в Париже в 1913 году, имеет вместимость 80 000 кубических футов. Противогазная сумка весит 653 фунта, сетка - 240 фунтов. а корзина - 92 фунта. Насколько большую нагрузку он может выдержать при заполнении водородом с удельным весом 0,069 (по сравнению с воздухом).

FIG. 54.—Magdeburg hemispheres.

Рис. 54.Магдебургские полушария.

Схема обзора: Жидкости и газы

Жидкости: сила, давление и плотность. Плавающие и погруженные тела. Законы: Жидкая сила, $F = A.h.d$, Паскаля, Архимеда. Иллюстрации и приложения:

Удельный вес, $W_{a}/(W_{a} - W_{w})$, $(W_{a} - W_{l})/(W_{a} - W_{w})$, по Бойлю, $PV = PV$

Устройства: Гидравлический пресс, воздушная подушка, барометр—ртутный и анероидный. Насосы, подъемные, силовые, вакуумные, компрессионные, центробежные, баллонные, сифонные и т.д. Конструкция и действие каждого из них.

ГЛАВА V

СИЛА И ДВИЖЕНИЕ

(1) Сила, Как она измеряется и представляется

71. Сила.— Мы изучали различные силы, такие как давление воздуха, давление в жидкостях и силу упругости в твердых телах, и рассматривали их просто как толчки или притяжения. На этом этапе курса будет полезно более формальное изучение сил в целом и устройств для их представления и измерения.

Сила - это то, что имеет тенденцию вызывать изменение размера или формы тела или состояния его движения. Другими словами, сила - это толчок или притяжение. То есть сила имеет тенденцию вызывать искажение или изменение движения тела. Сила сама по себе невидима. Мы измеряем ее по эффекту, который она производит. Силы обычно связаны с объектами, оказывающими на них воздействие. Таким образом, мы говорим о *мускульной силе*, *давлении воздуха*, *давлении жидкости*, силе пружины, силе земного притяжения и так далее.

Силы классифицируются по-разному.

I. В отношении *продолжительности и устойчивости* силы.

(а) постоянный, как земное притяжение. (б) импульсивный, как удар битой по мячу. (с) Переменный, как сила ветра.

II. Относительно *направления* силы.

(а) Притягивающий, как притяжение земли. (б) отталкивающий, как давление воздуха, жидкости и т.д.

72. Методы измерения силы.—Поскольку силы измеряются по их эффектам, которые представляют собой либо искажение, либо изменение движения, любой из этих эффектов может быть использован для их измерения. Например, сила, прилагаемая локомотивом, иногда вычисляется по *скорости* он может развить в составе вагонов за данное время, или сила удара бейсбольной битой оценивается по *расстоянию*, которое проходит мяч до того, как он ударится о землю.

Однако более распространенным методом измерения силы является *искажение*, то есть измерение изменения формы тела, вызванного действием силы. При этом используется Закон Гука (статья 32), в котором говорится, что "в пределах совершенной упругости" изменения размера или формы прямо пропорциональны применяемым силам. То есть вдвое большая сила вызовет вдвое большее изменение формы и так далее.

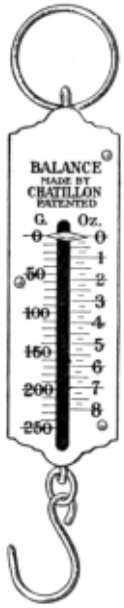


FIG. 55.—A spring balance.

Рис. 55—пружинные весы.

Распространенным устройством, использующим этот принцип, являются пружинные весы (рис. 55), с которыми все знакомы, такие как весы для льда, мясные весы, почтовые весы и т.д. Объект, который меняет форму в этом устройстве, представляет собой спиральную пружину, находящуюся в корпусе прибора. Весы сконструированы таким образом, что когда пружина вытянута настолько, насколько это возможно, она не достигла своего предела упругости, поскольку, если бы пружина была растянута так, чтобы превысить свой предел упругости, указатель не вернулся бы в свое первоначальное положение при снятии нагрузки. (См. Статьи 30-32.)

73. Графическое представление сил.—Говорят, что сила состоит из трех элементов. Это (а) *свои точки* в *приложение*, (Б) *свое направление*, и (с) *его величины*. Например, если на крюке пружинных весов подвешен груз весом 5 фунтов, то у нас есть: (а) точка его приложения к крюку весов, (б) направление вниз и (в) его величина, или 5 фунтов. Эти три элемента могут быть представлены линией. Таким образом, на рис. 56*a* линия *AB* нарисована, как показано, длиной в пять единиц; *A* обозначает точку приложения; *B*, головка стрелки, показывает направление; а длина линии (пять единиц) показывает величину усилия.

Это называется *графическим представлением*, поскольку оно представляет линией рассматриваемое количество. Если бы к первому был подвешен другой груз весом в 5 фунтов. графическое представление обеих сил было бы таким, как на рис. 56*b*. Здесь первая сила представлена через *AB* как и раньше, *BC*, представляющая вторую приложенную силу. Вся линия представляет собой *равнодействующую* двух сил или результат их комбинации. Если бы два груза были подвешены по одному на каждом конце короткой палки *AC* (рис. 56*c*), а последний был бы подвешен в центре, то их общий вес или *результирующая* вес был бы, конечно, приложен к центру. Направление будет таким же, как у двух весов. Следовательно, результирующая величина представлена через *ON*. Чтобы точно сбалансировать эту результирующую величину *ON*, в точке приложения *ON* или *O* должна быть приложена сила равной величины, но противоположного направления. *OM* тогда представляет силу, которая просто уравновешивает или удерживает в равновесии равнодействующую двух сил *AB* и *CD*. Следовательно, эта линия *OM* представляет *равновесие* весов *AB* и *CD*. Равнодействующая двух сил, расположенных под углом друг к другу,

формируется иначе, как на рис. 57 *a*. Здесь две силы *AB* и *AC* действуют под углом друг к другу. Отложите под указанным углом линии *AB* и *AC* такой длины, которая будет точно представлять силы. Отложите *BD* равный *AC* и *CD* равный *AB*. Тогда фигура *ABCD* представляет собой параллелограмм. Его диагональ *AD* представляет собой равнодействующую сил *AB* и *AC*, действующих под углом *BAC*. Если *BAC* равен 90 градусам или представляет собой прямой угол, то *AD* можно *вычислить* таким образом: $AB^2 + BD^2 = AD^2$. Почему?

и $AD = \sqrt{([строка]AB^2 + [строка]BD^2)}$.

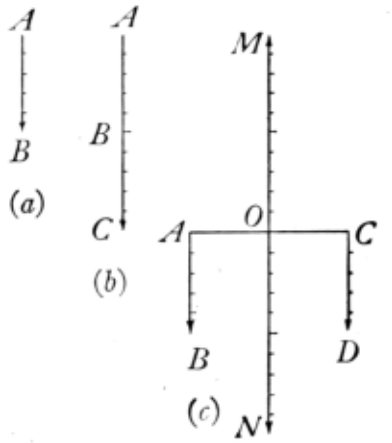


FIG. 56.—Graphic representation of forces acting along the same or parallel lines.

Рис. 56.—Графическое представление сил, действующих вдоль одних и тех же или параллельных линий.

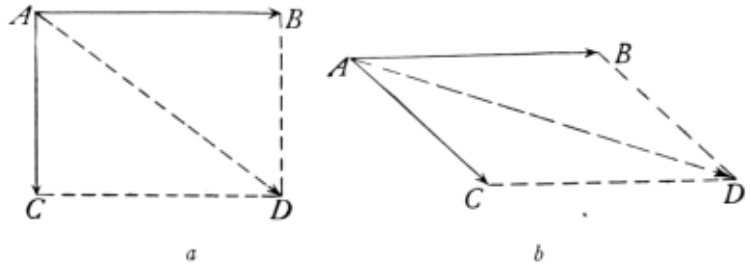


FIG. 57.—Graphic representation of two forces acting (*a*) at a right angle, (*b*) at an acute angle.

Рис. 57.—Графическое изображение двух сил, действующих (*a*) под прямым углом, (*b*) под острым углом.

Этот метод определения результирующей путем *вычисления* может использоваться, когда две силы находятся под прямым углом. (В любом случае, *AD можно измерять* с использованием той же шкалы, что и для *AB* и *AC*, как показано на рис. 57 *b*.) Только что приведенные три случая объединения сил можно классифицировать следующим образом: *Первый* - это когда *две силы действуют вдоль одной линии* в одном или противоположных направлениях, например, когда две лошади запряжены тандемом или при перетягивании каната. *Вторая* - это действие *двух сил, действующих вдоль параллельных линий* в одном направлении, как при запряжке двух лошадей бок о бок или в ряд. *Третья* - это действие *двух сил, действующих в одной и той же точке под углом*. Это может быть представлено устройством, показанным на рис. 58, состоящим из двух пружинных балансиров, подвешенных к гвоздям в верхней части классной доски в точках *A* и *B*. Шнур прикреплен к обоим крючкам и пропущен через небольшое кольцо в точке *O*, к которому подвешен

известный груз, *W*. На доске под натянутыми шнурами нарисованы линии от *O* к *OA*, *OB*, и *OW*, и на каждом измерены расстояния от *O* чтобы соответствовать трем силам, показанным на весах *A* и *B*, и весу *W*. Пусть параллелограмм построен по линиям, измеренным на *OA* и *OB*. Его диагональ, проведенная от *O*, окажется вертикальной и той же длины, что и линия, измеренная на *OW*. Диагональ - это *равнодействующая* двух сил, а *ПОТОК* - равновесие, равное равнодействующей и противоположное ей.

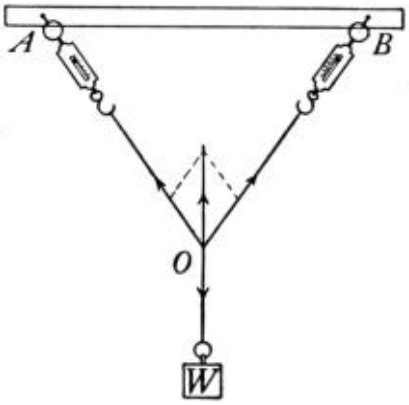


FIG. 58.—Experimental proof of parallelogram of forces.

Рис. 58.—Экспериментальное доказательство параллелограмма сил.

Опять же, *первый* случай может быть представлен лодкой, движущейся вверх или вниз по течению; результирующее движение является комбинированным эффектом движения лодки и потока. *Второй*, может быть представлен двумя лошадьми, прикрепленными бок о бок к одному и тому же эвенеру. Результирующая сила равна сумме двух составляющих сил. *Третий*может быть представлен лодкой, плывущей через ручей, при этом результирующее движение представлено диагональю параллелограмма, образованного с помощью линий, которые представляют движение потока и лодки.

74. Единицы измерения силы.—Силу обычно измеряют в единицах веса: в фунтах, килограммах и граммах. Например, мы говорим о 15 фунтах. давление на квадратный дюйм и 1033,6 г. давление на квадратный сантиметр представляют собой давление воздуха. Здесь следует отметить, что слова фунт, килограмм и грамм используются не только для обозначения *веса* или *силы*, но и для обозначения масс рассматриваемых объектов. Таким образом, можно говорить о фунтовой массе, означающей количество материала в объекте.

Избежать путаницы поможет, если мы оставим простые термины "грамм" и "фунт" для обозначения исключительно количества вещества, то есть массы, и будем использовать полное выражение "грамм силы" или "фунт силы" всякий раз, когда мы имеем в виду притяжение земли к этим массам. Или можно говорить о *фунтовом весе*, означающем силу притяжения, оказываемого землей на объект. То же самое верно для *граммовой массы* и *граммового веса*. Масса тела не изменяется, когда его переносят в другое место. Вес, однако, может варьироваться, поскольку при перемещении тела от экватора к полюсам земли вес, как известно, увеличивается.

Важные темы

1. Определение силы.

2. Классификация сил. (а) Продолжительность: постоянная, импульсивная, переменная. (б) Направление: притягивающее, отталкивающее.

3. Методы измерения силы. (а) По искажению. (б) по изменению движения.

4. Графическое представление сил: составляющих, равнодействующих, уравновешивающих.

5. Три случая объединения сил. (1) Две силы, действующие на одной линии. (2) Две силы, действующие на параллельных линиях. (3) Две силы, действующие в одной и той же точке под углом.

6. Единицы измерения силы, фунт, грамм.

Упражнения

1. Назовите пять природных сил. Какие вызывают напряжение? Какие давление?

2. Сколько вы можете поднять? Выразить в фунтах и килограммах.

3. Покажите графически равнодействующую двух сил, действующих под прямым углом, одна из которых равна 12 фунтам, другая - 16 фунтам. Какова величина этой равнодействующей? Затем определите ответ, сначала путем измерения, а затем вычислений. Какой ответ более точный? Почему?

4. Изобразите параллелограммом две силы, которые поддерживают человека, сидящего в гамаке, и проведите линию, представляющую равнодействующую.

5. Найдите графически равнодействующую двух сил, одной из которых 500 фунтов. восточная и одной из 600 фунтов. северо-западная.

6. Определите равновесие двух сил, одной из которых 800 фунтов. южная и одной из 600 фунтов. западная.

7. Будет ли тот факт, что вес меняется при перемещении от экватора к любому полюсу, показан пружинными или балочными весами? Объясните.

(2) Движение. Законы движения Ньютона

75. Движение - изменение положения.—Движение определяется как непрерывное *изменение положения* тела. *Положение* тела обычно описывается как его *расстояние* и *направление* от некоторой фиксированной точки. Таким образом, человек на лодке может находиться в состоянии покоя по отношению к лодке и двигаться по отношению к земле. Или, если он идет к корме так же быстро, как лодка движется вперед, он может держаться прямо над скалой на дне озера и, следовательно, не двигаться относительно скалы, но все же находиться в движении относительно лодки. Движение и покой, следовательно, являются *относительными* терминами. Сама земля находится в движении, поворачиваясь вокруг своей оси, двигаясь по своей орбите и следуя за Солнцем в его движении в пространстве. Движения классифицируются несколькими способами:

А) способы передвижения

1. *Перевод.*—Говорят, что тело имеет *поступательное* когда каждая линия в нем сохраняет одно и то же направление.

2. *Вращение.*—Тело имеет движение *вращения* когда оно вращается вокруг неподвижной оси внутри тела, как колесо вокруг своей оси или земля вокруг своей оси.

3. *Вибрация* или *Колебание*.—Говорят, что тело обладает *вибрационным* или *колебательным* движением, когда оно возвращается в одну и ту же точку через равные промежутки времени путем разворота движения по заданной траектории, *например,*маятник.

(B) Направление движения

1. *Прямолинейный.*—Тело движется прямолинейно, когда его путь представляет собой прямую линию. Абсолютного прямолинейного движения не существует, хотя движение поезда по прямолинейному участку пути почти прямолинейно.

2. *Криволинейный.*—Тело имеет *криволинейное* движение, когда его траектория представляет собой изогнутую линию, *например,*траектория брошенного мяча.

C) Равномерность движения

1. *Равномерный.*— Тело движется равномерно, когда его скорость и направление движения не меняются. Редко наблюдается равномерное движение в течение длительных периодов времени. Поезд может преодолевать в среднем 40 миль в час, но в течение каждого часа его скорость может увеличиваться и уменьшаться.

2. *Переменный.*—Тело совершает переменное движение, когда его скорость или направление движения постоянно меняются. Большинству тел присуще переменное движение.

3. *Ускоренный.*—Тело движется с ускорением, когда его скорость или направление движения постоянно меняются. Если скорость изменяется на одну и ту же величину каждую секунду, *а направление движения не меняется*, то говорят, что движение *равномерно* ускорено, *например,*падающее тело.

Равномерно ускоренное движение будет изучено далее в разделе о падающих телах.

Скорость - это *скорость движения* тела в заданном направлении. Например, скорость пули может составлять 1300 футов в секунду вверх. *Ускорение* - это *скорость изменения скорости* в заданном направлении или изменение скорости за единицу времени. Поезд, трогающийся со станции, постепенно увеличивает свою скорость. Увеличение скорости в течение одной секунды является его ускорением. Когда скорость уменьшается, например, когда поезд замедляется, ускорение противоположно по направлению скорости. Падающее тело падает все быстрее и быстрее. Оно имеет *ускорение вниз*. Мяч, брошенный вверх, движется все медленнее. Он также имеет *ускорение вниз*.

76. Импульс.—Общеизвестно, что тяжелое тело приводится в движение с большим трудом, чем легкое, или если на легкое и тяжелое тело в течение одинакового периода времени воздействовать с одинаковой силой,[E] легкому телу будет придана большая скорость. Это наблюдение привело к *вычислению* того, что называется "количеством движения" тела, или его *импульсом*. Он вычисляется путем умножения массы на скорость. Если используется система CGSS, мы будем иметь в качестве импульса тела массой 12 г, движущегося на 25 см в секунду, импульс 12 × 25 или 300 единиц импульса Cgss. Эта единица измерения не имеет названия и поэтому выражается так, как указано выше. Формула для вычисления импульса такова: $M = mv$.

Законы движения Ньютона

77. Инерция, Первый закон движения.— Когда едешь в поезде, часто замечаешь, что если поезд внезапно движется вперед, пассажиры не приходят в движение сразу после поезда, а, по-видимому, их отбрасывает назад. В то время как если поезд внезапно останавливается,

пассажиры, как правило, продолжают движение. Эту тенденцию материи продолжать движение, когда она находится в движении, и оставаться в состоянии покоя, когда она находится в покое, часто называют свойством *инерции*. *Первый закон движения Ньютона*, часто называемый *законом инерции*, описывает это свойство материи следующим образом:

Каждое тело продолжает находиться в состоянии покоя или равномерного движения по прямой, если только оно не вынуждено изменить это состояние какой-либо внешней силой. Это означает, что если такой предмет, как книга, лежит на столе, он будет оставаться там до тех пор, пока не будет удален какой-либо внешней силой. Ни один неодушевленный предмет не может двигаться сам по себе или остановиться сам по себе. Если мяч подбросить в воздух, он мог бы двигаться вечно, если бы не *сила* притяжения земли и сопротивления воздуха.

Для приведения массы в движение требуется время, тяжелому объекту требуется больше времени на замену, чем легкому объекту. В качестве примера обратите внимание на движения пассажиров в трамвае, когда он внезапно трогается с места. Другой иллюстрацией закона инерции является так называемый эксперимент "пенни и карточка". Держите карту на кончике пальца. Положите на нее монету прямо над пальцем, быстро защелкните карту, чтобы вытащить карту из-под монеты. Монета останется на пальце. (См. рис. 59.)

FIG. 59.—The ball remains when the card is driven away.

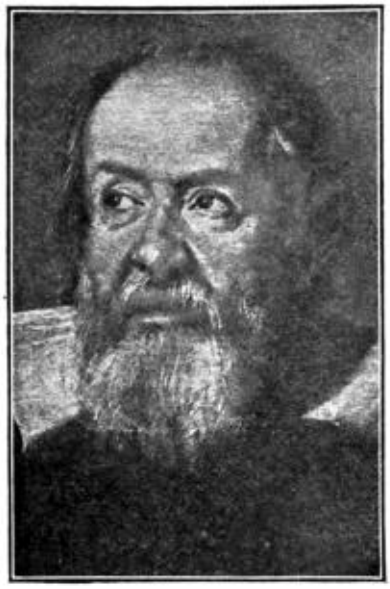
Рис. 59.— Шар остается, когда карта отбита.

Согласно первому закону движения Ньютона, движущееся тело, которое могло бы быть полностью освобождено от действия всех внешних сил, имело бы равномерное движение и описывало бы идеально прямой курс. Изогнутая траектория, которую проделывает бейсбольный мяч при броске, показывает, что на него воздействует внешняя сила. Эта сила, притяжение земли, называется *гравитацией*.

SIR ISAAC NEWTON
"By Permission of the Berlin Photographic Co., New York."

СЭР ИСААК НЬЮТОН "С разрешения Берлинской фотографической компании, Нью-Йорк".

Сэр Исаак Ньютон (1642-1727) профессор математики Кембриджского университета; открыл гравитацию; изобрел математический анализ; объявил законы движения; написал Principia; совершил множество открытий в области света.



GALILEO GALILEI
"By Permission of the Berlin Photographic Co., New York."

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ "С разрешения Берлинской фотографической компании, Нью-Йорк".

Galileo Galilei (1564-1642). Итальянская. "Основатель экспериментальной науки"; "Зачинатель современной физики"; создал первый термометр; открыл законы падения тел и маятника; изобрел галилеевский телескоп.

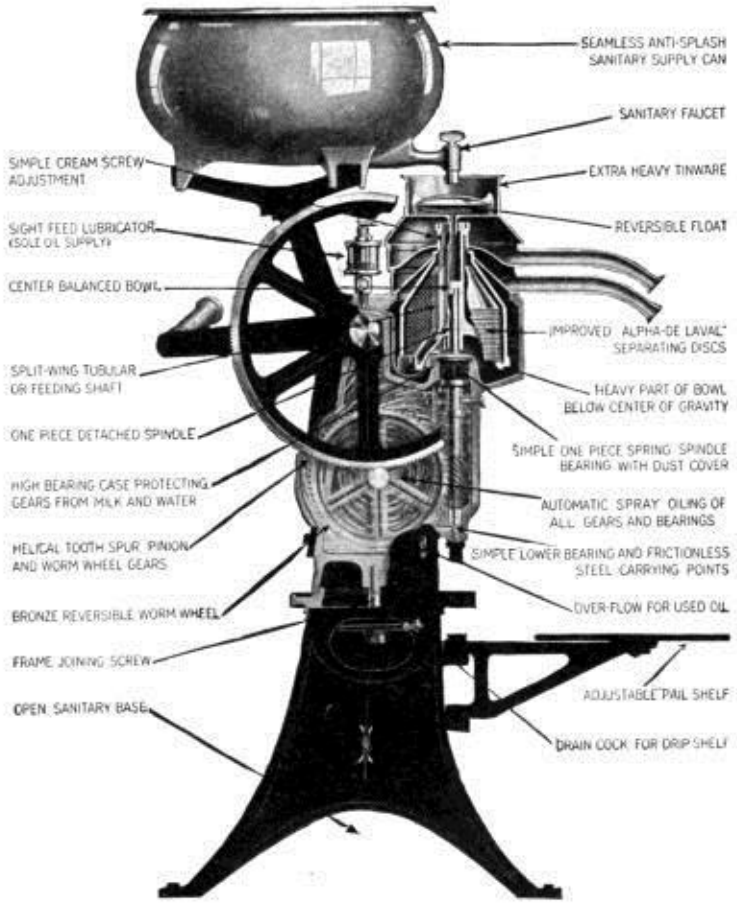


FIG. 60.—Cross-section of the DeLaval cream separator.

Рис. 60.—Поперечное сечение кремоотделителя DeLaval.

78. Криволинейное движение.—Криволинейное движение возникает, когда движущееся тело отклоняется от прямой траектории. Тяга или толчок называется *центростремительной* (стремящейся к центру) силой. Движущийся камень на конце веревки, когда его тянут к руке, движется по кривой. Если веревку отпустить, камень движется по касательной к кривой. Веревка тянет руку. Эта фаза притяжения называется *центробежной* силой. *Центростремительная* сила - это притяжение к камню. Центростремительная и центробежная силы вместе вызывают натяжение струны. Примеры криволинейного движения очень распространены. Всадник и лошадь на цирковой арене наклоняются внутрь, чтобы двигаться по кривой. Кривая на беговой дорожке в спортивном зале "наклонена" по той же причине. Грязь, летящая из-под колеса кареты, занос автомобиля при быстром повороте и искры, вылетающие из наждачного круга, являются иллюстрациями Первого закона движения.

Сливки отделяют от молока, помещая цельное молоко в быстро вращающуюся чашу, при этом более светлые сливки собираются в центре и отбрасываются наверх. (См. рис. 60.) Одежда в паровых прачечных сушится в центробежной сушилке. В парках развлечений многие устройства используют этот принцип. (См. Центробежные насосы, статья 70.)

FIG. 61.—The two balls reach the floor at the same time.

Рис. 61.—Два мяча достигают пола одновременно.

79. Второй закон движения, иногда называемый *законом импульса*, приводит к *измерению силы*по импульсу или количеству движения, производимому ею. Закон гласит следующее:

Изменение движения, или импульса, пропорционально действующей силе и происходит в направлении, в котором действует сила. Другими словами, если две или более силы действуют на тело в одно и то же мгновение, то каждая из них производит тот же эффект, что и если бы она действовала поодиночке. Если карта держится на двух гвоздях, вбитых горизонтально близко друг к другу в вертикальную доску (см. рис. 61), а два шарика расположены на концах так, чтобы уравновешивать друг друга, то при ударе по одному шарику горизонтально упадет другой. Оба достигают пола одновременно. Два шара одинаково притягиваются землей и ударяются о землю одновременно, хотя один отбрасывается вбок, а другой падает вертикально.

Поскольку сила тяжести является постоянной, в то время как удар был лишь кратковременным, фактический путь или результирующее движение будет представлять собой изогнутую линию.

Постоянная связь между действующей силой и изменением импульса, который она создает в теле, привела к принятию удобной единицы измерения силы, называемой *дайной*. *Динамо - это та сила, которая может придать массе в один грамм изменение скорости со скоростью один сантиметр в секунду каждую секунду.* Это определение предполагает, что тело, на которое воздействуют, свободно двигаться без каких-либо препятствий, так что действующая сила должна преодолевать только *инерцию* тела. *Однако*, *закон* применяется в каждом случае применения силы, так что каждая сила оказывает свое полное действие независимо от других сил, которые могут одновременно воздействовать на тело.

80. Третий закон Ньютона.— Этот закон испытал на себе каждый, кто прыгал с гребной лодки недалеко от берега. Мышечное действие, которое толкает тело вперед от лодки, также толкает лодку назад, часто с неприятными результатами. Закон гласит: *на каждое действие всегда есть противоположная и равная реакция, или взаимные действия любых двух тел всегда равны и противоположны по направлению*. У каждого в голове есть множество иллюстраций этого закона: натянутая веревка тянет с той же силой в одном направлении, что и в противоположном. Если бита ударяет по мячу, мяч ударяется о биту с равной и противоположной силой. Поэтому третий закон иногда называют законом *реакции*. Когда груз подвешивается к пружинным весам, действие груза тянет пружину вниз до тех пор, пока она не растянется в достаточной степени (закон Гука), чтобы вызвать упругую *реакцию*, которая равна весу и, следовательно, поддерживает его. Когда человек стоит в центре доски, опирающейся на ее концы, под действием веса человека планка изгибается до тех пор, пока сила упругости, создаваемая планкой, не сравняется с приложенным весом. Кроме того, когда поезд или вагон находится на мосту, мост поддается до тех пор, пока не разовьет упругую реакцию, равную приложенному весу. Если человек стоит в центре комнаты, балки пола прогибаются до тех пор, пока не будет выполнен третий закон. Фактически, всякий раз, когда действует сила, всегда действует противоположная равная сила.

81. Напряжение и деформация.—Пара сил, составляющих действие и реакцию, называется *напряжением*. Эти две силы являются двумя частями одного *напряжения*. Если две силы действуют друг против друга, как при разрыве струны, напряжение называется *натяжением*, но если они действуют навстречу друг другу, как при разрушении чего-либо, напряжение называется *давлением*. Чтобы тело могло приложить силу, оно должно

встретить сопротивление. Приложенная сила никогда не бывает больше встреченного сопротивления. Таким образом, можно приложить лишь небольшую силу к перышку, парящему в воздухе, или к другим легким предметам. Стремительный выстрел не оказывает никакого воздействия, если только он не встречает какого-либо сопротивления.

Таким образом, силы всегда находятся парами. Таким образом, чтобы разорвать бечевку, растянуть резинку, выжать лимон, необходимо приложить две равные и противоположные силы. Такая вещь, как единая сила, действующая в одиночку, неизвестна. Однако обычно мы уделяем наше внимание в основном одной из сил и игнорируем другую. Когда на тело действует сила, возникающее в результате изменение формы или размера называется *деформацией*. Закон Гука (статья 32) часто выражается следующим образом: "Деформация пропорциональна напряжению", *например,*растяжение пружины пружинных весов пропорционально приложенной к ним нагрузке.

Важные темы

1. Движение - смена положения. Виды движений.

2. Законы движения Ньютона.

3. Импульс.

4. Инерция. Первый закон движения. Криволинейное движение.

5. Второй закон движения.

6. Третий закон движения. Действие и противодействие, напряжение и деформация.

Упражнения

1. Приведите три иллюстрации третьего закона, отличные от приведенных.

2. Винтовочная пуля, выпущенная в доску, стоящую на краю, собьет ее с ног; та же пуля, выпущенная в доску, пройдет сквозь нее, не нарушив ее положения. Объясни.

3. Молотком часто ударяют по рукоятке концом последней. Объясните.

4. Представьте себе поезд, движущийся со скоростью 60 миль в час, с пистолетом на задней платформе, направленным прямо назад. Если выстрелить из пистолета со скоростью 60 миль в час, что произойдет с мячом?

5. Можно ли играть в мяч на палубе океанского парохода, идущего со скоростью 25 миль в час, не принимая во внимание движение судна? Объясните.

6. На изгибе железной дороги один рельс всегда находится выше. Какой? Почему?

7. Почему маленький мальчик, за которым гонится большой мальчик, часто может убежать, уворачиваясь?

8. Будет ли камень, выпавший из движущегося поезда, падать по прямой? Объясните.

9. Струя мелкого песка, вдавливаемая в лист стекла, вскоре придает ему шероховатую поверхность. Объясните.

10. Объясните использование маховиков для стабилизации движения механизмов (например, швейной машины).

11. Легче ли пройти в переднюю или заднюю часть пассажирского поезда, когда он останавливается? Почему?

12. Почему опускание ручек тачки в момент удара облегчает переезд через кочку?

13. Почему сильный боковой ветер должен мешать игре в теннис? Как это можно допустить?

14. По какой стороне железнодорожного полотна на повороте безопаснее всего идти во время движения поезда? Почему?

15. Почему пуля, выпущенная через окно, оставляет в стекле чистое круглое отверстие, в то время как маленький камешек, брошенный в окно, разбивает стекло?

16. Сальную свечу можно зажечь через сосновую доску. Почему?

17. Во время циклонов соломинки часто забиваются на небольшое расстояние в деревья; почему соломинки не ломаются и не дробятся, вместо того чтобы быть вбитыми в дерево целыми?

18. Пуля весом в пол-унции. выпущена из пистолета весом 8 фунтов. Скорость пули составляет 1800 футов в секунду. Найдите скорость "удара" или отдачи пистолета.

18. Когда футболисты сталкиваются друг с другом, кого из них бросают сильнее? Почему?

20. Железнодорожный поезд весом 400 тонн развивает скорость 60 миль в час. Океанский пароход весом 20 000 тонн развивает скорость в полмили в час. Как соотносятся их импульсы?

21. Почему в футбольной команде мальчик-тяжеловес предпочтительнее мальчика-легковеса?

22. Почему кузнец, когда он хочет нанести сильный удар, выбирает тяжелую кувалду и размахивает ею над головой?

23. Почему кэтчер бейсбольной команды носит мягкие перчатки?

(3) Расстановка сил

82. Расстановка сил.—Мы изучали влияние сил на создание движения и результаты объединения сил *многими* способами; по *одной и той же линии*, по *параллельным линиям* и по *расходящимся линиям*. Другим случаем, представляющим большой интерес и важность, является *определение эффективности силы в направлении, отличном от того, в котором она действует*. Часто используется этот случай, который называется *разрешением сил*. Для иллюстрации: достаточно вспомнить, что моряк использует этот принцип на практике всякий раз, когда он ведет свою лодку в любом другом направлении, кроме того, в котором дует ветер, *например*,, когда ветер дует, скажем, с севера, лодку может вести на восток, запад или в любую точку юга между востоком и западом, и даже возможно повернуть против ветра на северо-восток или северо-запад. Возьмем салазки, влекомые короткой веревкой с усилием, приложенным вдоль линии AB (см. рис. 62); часть этого усилия стремится поднять переднюю часть салазок как AC, а часть тянет их вперед как AD. Следовательно, не вся сила, приложенная вдоль AB, используется для продвижения салазок вперед. На его эффективность указывает относительный размер компонента AD по сравнению с AB.

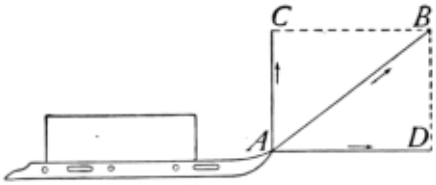


FIG. 62.—*AD* is the effective component.

Рис. 62.—*AD* является эффективным компонентом.

Силу тяжести, действующую на сферу, которая покоится на *наклонной плоскости*, можно легко разделить на две составляющие: одну, *эффективную* составляющую, как *ИЛИ*, и другую, *неэффективную* как *OS*. (См. рис. 63.) Если угол *ACB* равен 30 градусам, *AB* равен 1/2 от *AC* и *ИЛИ* равен 1/2 от *OG*, так что скорость шара вниз по плоскости, развиваемая за 1 секунду, меньше (примерно половины) скорости свободно падающего тела, развиваемой за то же время. Почему *операционная система* неэффективна?

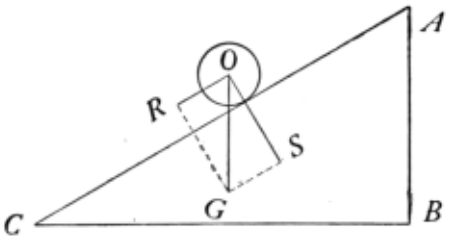


FIG. 63.—The effective component is *OR*.

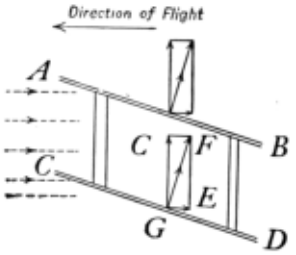


FIG. 64.—Resolution of the forces acting on an aeroplane.

Рис. 63.—Эффективной составляющей является *ИЛИ*.
Рис. 64.—Распределение сил, действующих на самолет.

83. Самолет.—Самолет состоит из одного или двух каркасов *ABCD* (см. рис. 64), поверх которых натянута ткань или тонкий листовой металл. Он приводится в движение воздушным винтом, вращаемым мощным бензиновым двигателем. В результате создается сильный бриз, дующий в переднюю часть самолета. Как и в случае с парусной лодкой, давление создается под прямым углом к плоскости вдоль *GF*, и это может быть разделено на две составляющие, такие *как*GC*и*GE,GC*действующие для вертикального подъема самолета, и*GE,,,, противодействующие действию винта. На рис. 65 изображена летающая лодка Кертиса, пролетающая над рекой Детройт.

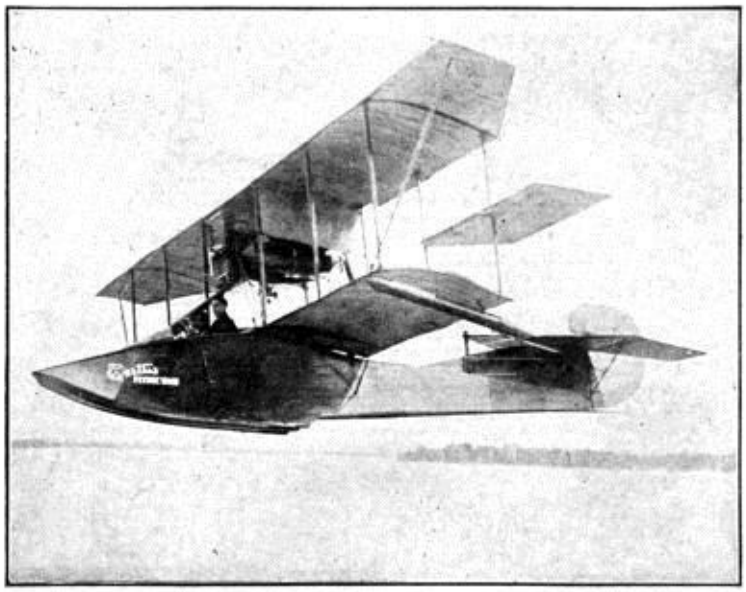


FIG. 65.—The Curtis hydroplane.

Рис. 65 —Гидроплан Кертиса.

Упражнения.

1. Если фургон весом 4000 фунтов. находится на холме высотой 1 фут из 6, какая сила, параллельная холму, будет просто поддерживать груз? (Найдите эффективную составляющую веса при спуске с холма.)

2. Если бочку закатывают по 16-футовой лестнице в грузовой ящик на высоте 3 футов от земли, какая сила удерживает бочку на месте на лестнице, если бочка весит 240 фунтов? Показать диаграммой.

3. Покажите графически компоненты, из которых состоит нажатие мужчины на ручку газонокосилки.

4. Целится ли человек, стреляющий в летящую утку, в птицу? Объясните.

5. Какие три силы действуют на воздушного змея, когда он "стоит" в воздухе?

6. Какое отношение равнодействующая любых двух сил в пятой задаче имеет к третьей?

7. На какие две силы сводится вес фургона, спускающегося с холма? Объясните с помощью диаграммы.

8. Ветер ударяет в парус лодки под углом 60 градусов к перпендикуляру с давлением 3 фунта. на квадратный фут. Каково эффективное давление перпендикулярно парусу? Каким будет эффективное давление при падении под углом 30 градусов?

9. Как изменяется вертикальная составляющая силы, действующей на самолет, когда передняя кромка самолета приподнята? Показать на диаграмме.

(4) МОМЕНТ СИЛЫ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СИЛЫ

84. Момент силы.—При изучении движения мы обнаружили, что величина движения называется *импульсом* и измеряется произведением *массы на скорость*. При изучении *параллельных сил*, особенно таких, которые имеют тенденцию производить *вращение*, мы

рассматриваем аналогичную величину. Это называется *моментом силы*, который является термином, применяемым к *эффективности* силы при изменении вращения. Он также измеряется произведением двух величин; *Одна - величина самой силы*, а другая - *расстояние по перпендикуляру от оси, вокруг которой происходит вращение, до линии, представляющей направление силы*.

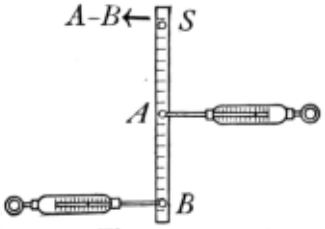


FIG. 66.—The moments about *S* are equal.

Рис. 66.—Моменты около *S* равны.

Для иллюстрации: Возьмите стержень в виде метровой палки, просверлите отверстие под *углом* и проденьте в него шуруп, закрепленный в верхней части классной доски. Прикрепите с помощью шнуров два пружинных балансира и отведите вправо и влево, *A* и *B*, как показано на рис. 66. Вытяните балансир *B* примерно наполовину, держите его устойчиво или закрепите шнур сбоку от доски и считайте оба баланса. Обратите также внимание на расстояние *AS* и *BS*. Поскольку стержень находится в состоянии покоя, тенденция к вращению вправо и влево должна быть одинаковой. То есть моменты сил в *A* и *B* около *S* равны. Поскольку они вычисляются как произведение *силы на силу* плеча, умножьте *B* на *BS* и *A* на *AS* и посмотрите, равны ли вычисленные моменты. *Следовательно, сила, которая стремится повернуть тело вправо, может быть уравновешена другой силой с равным моментом, действующей влево.*

FIG. 67.—Law of parallel forces illustrated.

Рис. 67 —иллюстрированный закон параллельных сил.

85. Параллельные силы.— Объекты часто поддерживаются двумя или более направленными вверх силами, действующими в разных точках и образующими таким образом систему параллельных сил; например, когда два мальчика несут связку рыбы на удочке между ними или когда мост опирается на ее концы. Только что описанный принцип моментов помогает определить величину таких сил и их равнодействующую. Чтобы проиллюстрировать это, возьмите деревянную доску одинаковых размеров шириной 4 дюйма и длиной 4 фута. (См. рис. 67.) Прикрепите несколько винтовых крючков к одному краю так, чтобы один был установлен на *O*, где доска будет висеть горизонтально, когда доска будет подвешена к нему. Взвешивайте доску на пружинных весах, подвешенных в положении *O*. Это будет результатом следующих испытаний. Теперь подвесьте доску к двум пружинным балансирам в точках *M* и *N* и прочитайте оба *баланса*. Назовите показания *f* и *f*. Чтобы проверить силы, рассмотрим *M* как неподвижную точку (см. рис. 67) и вес доски, на которую будет воздействовать *O*. Тогда момент веса доски должен быть равен моменту силы при *N*, поскольку доска не двигается, или *w* умноженное *OM*, *f´*, *на*НМ. Если *N* считается фиксированной точкой, то момент веса доски и *f по отношению к точке N* должны быть равны, или *w* умноженное *на* = *f* умноженное *NM*НМ. Имея в виду эту иллюстрацию, закон параллельных сил можно сформулировать следующим образом: 1. *Равнодействующая двух*

параллельных сил, действующих в одном направлении в разных точках тела, равна их сумме и имеет то же направление, что и составляющие.

Момент действия одного из компонентов относительно точки приложения другого равен моменту действия поддерживаемого веса относительно другого и противоположен ему.

Задача.—Если двое мальчиков несут связку рыбы весом 40 фунтов. какое усилие должен приложить каждый мальчик к стержню длиной 8 футов между ними, если веревка находится в 5 футах от заднего мальчика?

Решение.—Момент силы, F прилагаемой к противоположному концу сидящим сзади мальчиком, равен $F \times 8$. Момент веса примерно в одной и той же точке равен $40 \times (8 - 5) = 120$. Следовательно, $F \times 8 = 120$, или $F = 15$, сила, прилагаемая задним мальчиком. Передний игрок прикладывает силу, равную F момент которой относительно другого конца стержня равен $F \times 8$. Момент приложения веса к одной и той же точке равен $40 \times 5 = 200$. Поскольку момент F равен этому, $200 = F \times 8$, или $F = 25$. Следовательно, передний мальчик весит 25 фунтов. а задний мальчик 15 фунтов.

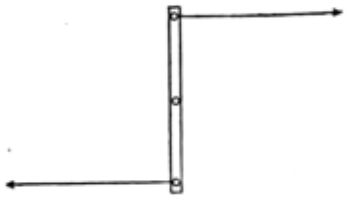


FIG. 68.—A couple.

Рис. 68.—Пара.

86. Супружеская пара.—Если две равные параллельные силы действуют на тело по разным линиям в противоположных направлениях, как на рис. 68, у них нет единой результирующей или нет единой силы, которая будет иметь тот же эффект, что и две составляющие, действующие вместе. Комбинация сил такого рода называется *парой*. Ее тенденция заключается в изменении вращения тела. Примером может служить воздействие на стрелку компаса, которая вращается под действием силы, направляющей один конец на север, и равной силы, направляющей другой конец на юг.

Важные темы

1. Момент силы, как измеряется.

2. Параллельные силы.

3. Два закона параллельных сил.

4. Супружеская пара.

Упражнения

1. Покажите на диаграмме, как организовать соревнования для трех лошадей таким образом, чтобы каждая лошадь брала на себя треть нагрузки.

2. Двое мальчиков держат на плечах 10-футовый шест с привязанной к нему 40-фунтовой ниткой рыбы в 4 футах от переднего мальчика. Какую нагрузку несет каждый мальчик? Работайте по принципу моментов.

3. Если две лошади тянут груз общей тягой в 300 фунтов, какую силу должна приложить каждая, если длина одной лошади составляет 28 дюймов, а другой - 32 дюйма от точки крепления выравнивателя к грузу?

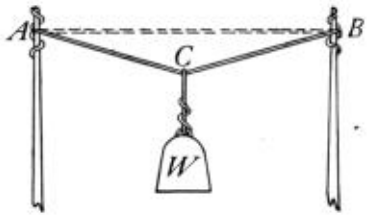


FIG. 69.—Forces acting upon a stretched rope.

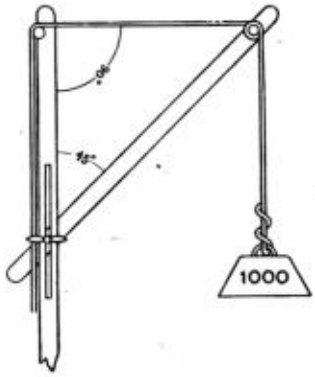


FIG. 70.—A crane with horizontal tie.

Рис. 69.—Силы, действующие на натянутый канат.
Рис. 70.—Кран с горизонтальной тягой.

4. Груз весом 100 фунтов. подвешивается посередине веревки *ACB* длиной 20 футов. (См. рис. 69.) Концы веревки закрепляются в точках *A* и *B* на одинаковой высоте. Рассматривайте *D* как центр линии *AB*. Каково натяжение веревки, когда *CD* составляет 3 фута? Когда *CD* составляет 1 фут.? Когда *CD* равен 1 дюйму.?

5. Кран устанавливается с горизонтальной стяжкой. (См. рис. 70.) Если вес 1000 кг. должен быть поднят, найдите натяжение тяги и напряжение стрелы, если угол наклона стрелы равен 30 градусам? Если 45 градусов? 60 градусов?

6. Мяч помещают на плоскость, наклоненную под углом 30 градусов к горизонтали. Какая доля его веса имеет тенденцию вызывать движение вниз по плоскости? Какое влияние оказывает другой компонент веса? Почему?

7. Человек весом 150 фунтов. лежит в гамаке. Расстояние между опорами составляет 15 футов. Гамак провисает на 4 фута. Каково натяжение опор на каждом конце? Каково натяжение, когда прогиб составляет всего 1 фут?

8. Лестница длиной 30 футов и весом 80 фунтов. Прислоняется к стене здания так, что образует угол в 30 градусов со зданием. Найдите направление и величину составляющих сил на земле и в здании.

9. Передвижной кран длиной 50 футов и весом 10 тонн перемещается из одного конца цеха в другой, одновременно перевозя груз весом 4000 фунтов. перемещается из конца в конец крана. Найдите давление тележек крана на гусеницу, когда груз находится на расстоянии 5, 10, 15 и 25 футов с обоих концов.

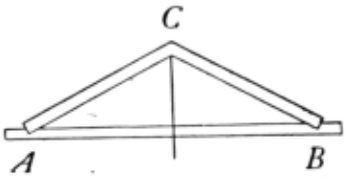


FIG. 71.—A truss.

Рис. 71—Ферма.

10. Разделите усилие в 500 фунтов. на две составляющие, расположенные под прямым углом друг к другу, одна из которых должна быть в четыре раза больше другой.

11. Ферма (см. рис. 71) выдерживает нагрузку в 1000 фунтов. при *C*. Найдите силы, действующие вдоль *AC*, *BC* и *AB*. Если *AC* и *BC* равны 12 футам, а *AB* 20 футам, какие из этих сил являются напряжениями, а какие давлением?

(5) ГРАВИТАЦИЯ И ПРИТЯЖЕНИЕ

87. Гравитация.—Гравитация - это сила притяжения, существующая между всеми материальными телами на любых расстояниях. Это притяжение существует не только между небесными телами, звездами и планетами и т.д., но также наблюдается между телами на земле. Книга притягивает все предметы в комнате и за ее пределами, поскольку ее вес показывает, что ее притягивает сама земля. Гравитационное притяжение между обычными телами настолько незначительно, что для его обнаружения требуются тщательные эксперименты. Фактически, только когда одно из притягивающих тел велико, как, например, земля, сила становится значительной. Тщательные исследования движений небесных тел, особенно движения Луны по ее орбите вокруг Земли, привели сэра Исаака Ньютона к утверждению *закона всемирного тяготения*, который хорошо выражен в следующем утверждении:

88. Закон всемирного тяготения.—*Каждая частица материи во Вселенной притягивает все остальные частицы с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.*

Закон можно разделить на две части, одна из которых относится к массам соответствующих тел, а другая - к влиянию расстояния между ними. Первую часть легко понять, поскольку все мы знаем, что две кварты молока будут весить всего в два раза больше, чем одна кварта. Чтобы проиллюстрировать вторую часть закона, предположим, что Луна была удалена от земли на *удвоенное* ее нынешнее расстояние, тогда притяжение между землей и Луной составляло бы *одну четвертую* от нынешнего притяжения. Если удалить его на расстояние, в *три* раза превышающее нынешнее, притяжение составит *одну девятую*и т.д.

Притяжение Земли к другим телам, находящимся на ней или вблизи нее, называется *гравитацией*. *Вес* тела является мерой притяжения земли к нему; или это сила тяжести, действующая на него. Третий закон движения Ньютона гласит, что каждое действие сопровождается равной и противоположной реакцией (статья 80). Следовательно, притяжение земли к книге или любому другому объекту сопровождается равным притяжением книги к земле.

89. Вес.—В передовой физике доказано, что сфера притягивается так, как если бы она была сосредоточена в ее центре. Таким образом, если рассматривать радиус земли как 4000 миль, то тело, находящееся на высоте 4000 миль над поверхностью земли, будет находиться на высоте 8000 миль над центром земли, или в два раза дальше от центра земли, чем тело,

находящееся на поверхности земли. Тело, находящееся тогда на высоте 4000 миль над поверхностью земли, будет весить всего лишь вчетверо меньше, чем на поверхности земли.

Поскольку земля сплющена на полюсах, поверхность на экваторе находится дальше от центра земли, чем в точках севера или юга. Таким образом, тело, весящее 1 фунт на экваторе, весит 1,002 фунта в Чикаго, или примерно на 1/500 больше. Вращение земли также влияет на вес тела на ней, так что на экваторе вес тела на 1/289 меньше, чем на полюсе. Оба эффекта, уплощение и вращение, имеют тенденцию уменьшать вес тел на экваторе, так что тело в последнем месте весит примерно на 1/192 меньше, чем на полюсах.

При изучении влияния земного притяжения будет полезна следующая иллюстрация: представьте себе открытую шахту площадью в квадратную милю, проходящую сквозь землю. Что произойдет с камнем, брошенным в шахту? Сначала притяжение всей земли притягивало бы его и постоянно увеличивало скорость движения вниз. По мере того, как он спускается с поверхности, притяжение к центру становится все меньше и меньше. На полпути к центру тело теряет половину своего веса. Когда камень достигает центра, сила притяжения во всех направлениях одинакова, или, другими словами, *он не имеет веса*. Однако он продолжал бы быстро двигаться из-за своей инерции, и по мере того, как он будет удаляться от центра, большая часть земли останется позади, притяжение, притягивающее его к центру, постепенно остановит его. Затем он снова упадет к центру и снова остановится после прохождения его, и после многократного движения вверх и вниз, наконец, остановится в центре земли. В этот момент будет обнаружено, что это тело не имеет веса, поскольку материал земли одинаково притягивает его во всех направлениях. Какая сила останавливает тело?

90. Центр тяжести.Тело состоит из огромного количества частиц, каждая из которых притягивается к центру земли силой притяжения. Их результирующей была бы единая сила, которая в точности равнялась бы совокупному эффекту притяжения земли для всех частиц тела. *Величина* этой равнодействующей равна весу тела. *Направление* этой равнодействующей находится в линии, проходящей к центру земли, в то время как *точка приложения* этой равнодействующей называется *центром тяжести* тела. Центр тяжести тела также можно кратко определить как *точку, вокруг которой оно может быть уравновешено*. Поскольку расположение этой точки зависит от распределения вещества в теле, центр тяжести также иногда называют *центром масс* тела.

Притяжение Земли к телу рассматривается для простоты не как множество небольших сил, а как единая сила, приложенная к его центру тяжести. Чтобы найти центр тяжести тела, найдите две пересекающиеся линии, вдоль которых оно балансирует, см. рис. 72, и центр тяжести будет находиться на пересечении. Вертикальную линию, проходящую через эту точку, иногда называют *линией направления веса*.

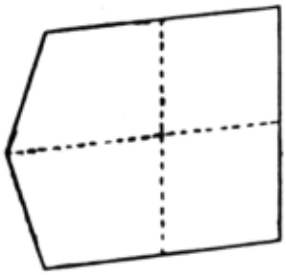


FIG. 72.—The center of gravity is at the intersection of the lines of direction.

Рис. 72.—Центр тяжести находится на пересечении линий направления.

91. Равновесие тел.—Равновесие означает равное равновесие. Тогда тело, находящееся в состоянии покоя или равномерного движения, находится в равновесии. Объект находится в равновесии под действием силы тяжести, когда вертикальная линия, проходящая через его центр тяжести, проходит через точку опоры. Туловище является примером тела, находящегося в равновесии, поскольку вертикальная линия от его центра тяжести проходит в пределах основания, образованного областью, на которую оно опирается. Потребуется работа, чтобы отклонить туловище от его положения. Объем требуемой работы будет зависеть от веса тела и расположения центра тяжести.

92. Виды равновесия.—(a) Устойчивое.—Тело находится в устойчивом равновесии под действием силы тяжести, если его центр тяжести поднимается всякий раз, когда тело смещается. Он вернется в свое первоначальное положение, если ему будет позволено упасть после небольшого смещения. На рис. 73, *a* и *b*, если их слегка наклонить, вернутся в свое первоначальное положение. Они находятся в устойчивом равновесии. Другими примерами являются кресло-качалка и комбинация, показанная на рис. 74.

a *b*

FIG. 73.—Stable equilibrium.

Рис. 73.Устойчивое равновесие.

(b) Неустойчивый.—Тело находится в неустойчивом равновесии под действием силы тяжести, если его центр тяжести опускается всякий раз, когда тело слегка смещается. Оно будет падать дальше от своего первоначального положения. Карандаш, насаженный на острие, или метла, насаженная на конец ручки, находятся в неустойчивом равновесии. Малейшее нарушение приведет к тому, что линия направления груза выйдет за пределы точки опоры (в сторону от нее) (рис. 75 *a*).

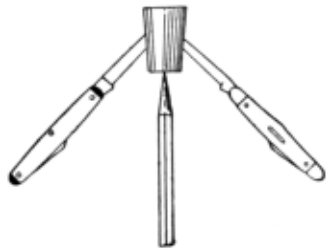


FIG. 74.—An example of stable equilibrium. Why?

Рис. 74 -Пример устойчивого равновесия. Почему?

FIG. 75.—Unstable equilibrium *a*, neutral equilibrium *b*.

Рис. 75.—Неустойчивое равновесие *a*, нейтральное равновесие *b*.

(c) Нейтральный.— Тело находится в нейтральном равновесии, если его центр тяжести не поднимается и не опускается при перемещении тела. Знакомыми примерами являются мяч, лежащий на столе (рис. 75, *б*), и повозка, движущаяся по ровной улице (имеется в виду ее поступательное движение).

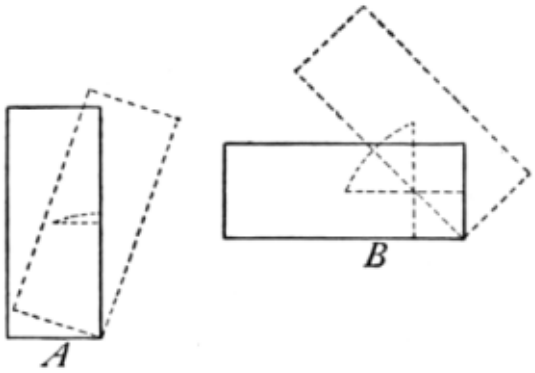


FIG. 76.—*B* is more stable than *A*.

Рис. 76.—*B* более устойчив, чем *A*.

93. Устойчивость.—Когда тело находится в устойчивом равновесии, необходимо приложить усилие, чтобы его опрокинуть, а степень устойчивости измеряется усилием, необходимым для его опрокидывания. Чтобы опрокинуть тело, его необходимо переместить так, чтобы вертикальная линия, проходящая через его центр тяжести, проходила за пределами опорного основания. Это движение в устойчивых телах требует поднятия центра тяжести. Чем выше должен быть поднят центр тяжести при переворачивании кузова, тем он устойчивее, *например*, см. рис. 76. Таким образом, повозка на склоне холма не перевернется до тех пор, пока ее вес не выйдет за пределы основания, как показано на рис. 77 *Б*. Устойчивость тела зависит от положения его центра тяжести и площади основания. *Чем ниже центр тяжести и больше основание*, тем устойчивее тело.

Какие средства используются для придания устойчивости телам при повседневном использовании (например, часы, чернильницы, кувшины, вазы, стулья, лампы и т.д.)?

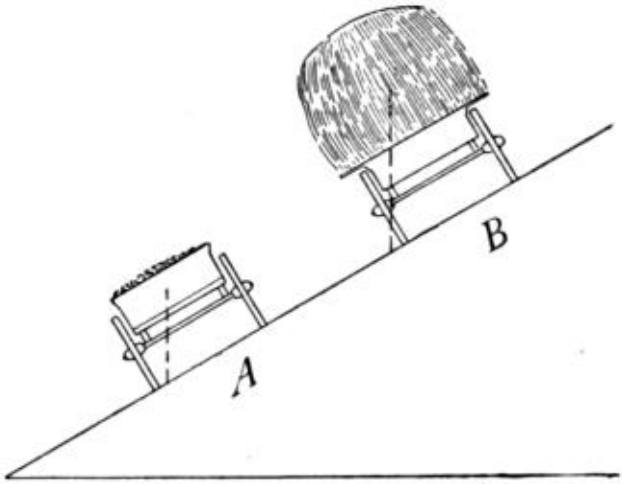


FIG. 77.—*B* will overturn; *A* will not.

Рис. 77.—*B* перевернется; *A* - нет.

Важные темы

1. Гравитация; закон всемирного тяготения, притяжение, вес.

2. Центр тяжести.

3. Три состояния равновесия. Стабильность.

Упражнения

1. Почему отвес полезен при строительстве домов?

2. Каков центр тяжести тела?

3. Объясните действие кресла-качалки, которое было опрокинуто вперед.

4. Устойчивость ящика выше, когда он пустой или когда наполнен песком? Объясните.

5. Как вы можете сами начать раскачиваться на качелях, не касаясь земли?

6. Находится ли центр тяжести балки весов выше, ниже или в точке опоры? Как вы это выяснили?

7. Почему некоторые бутылочки для чернил имеют конусообразную форму с толстым дном?

8. Сдвинул бы его с места электрический вентилятор, установленный на корме легкой лодки? Сдвинул бы он лодку, вращаясь под водой? Объясните.

9. Что вращает роторный разбрызгиватель для газона?

10. Почему, когда вы стоите прямо, прислонившись к стене, и между вашими ногами лежит монета, вы не можете наклониться и поднять ее, если только не переступите с ноги на ногу или не упадете?

11. Что стало бы с мячом, упавшим в большое отверстие, пробуренное в центре земли?

12. Когда яблоко падает на землю, поднимается ли земля ему навстречу?

13. На какое расстояние от земли распространяется сила притяжения?

14. Почему при подъеме по лестнице тело наклоняется вперед?

15. Почему при спуске с крутого холма люди часто наклоняются назад?

16. Почему ребенку так трудно научиться ходить, в то время как у котенка или щенка таких трудностей нет?

17. Объясните, почему использование пожилыми людьми трости облегчает им ходьбу?

(6) Падающие тела

94. Падающие тела.—Один из самых ранних физических фактов, усвоенных ребенком, заключается в том, что тело без поддержки падает на землю. Когда ребенок выпускает игрушку из рук, он вскоре учится искать ее на полу. Также общеизвестно, что легкие предметы, такие как перья и бумага, падают гораздо медленнее камня. Поэтому информация о том, что все тела на самом деле падают с одинаковой скоростью в вакууме или при удалении из-под тормозящего воздействия воздуха, воспринимается с удивлением.

Этот факт может быть продемонстрирован с помощью так называемой трубки для монет и перьев. При выпуске воздуха из этой трубки видно, что перо и монета внутри падают с одинаковой скоростью. (См. рис. 78.) когда воздух снова поступает, перо развевается позади.

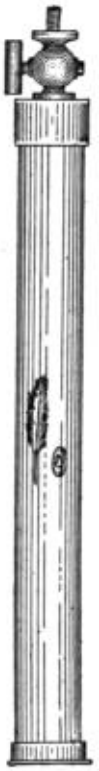


Fig. 78.—Bodies fall alike in a vacuum.

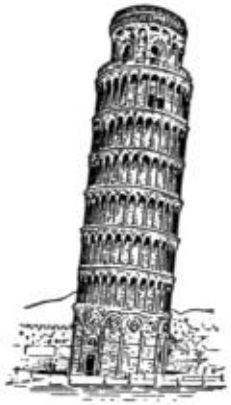


Fig. 79.—Leaning tower of Pisa.

Рис. 78.—Тела падают одинаково в вакууме.
Рис. 79.—Пизанская башня.

95. Эксперимент Галилея.— Тот факт, что тела разного веса имеют тенденцию падать с одинаковой скоростью, был впервые экспериментально продемонстрирован Галилеем, сбросившим 1-фунтовый и 100-фунтовый мячи с вершины Пизанской башни в Италии (представлены на рис. 79). Оба, стартовав одновременно, одновременно ударились о землю.

Галилей сделал из этого вывод, что перья и другие легкие предметы падали бы с той же скоростью, что железо или свинец, если бы не сопротивление воздуха. После изобретения воздушного насоса это предположение было подтверждено, как только что объяснено.

96. Ускорение под действием силы тяжести.—Если тело падает свободно, то есть не встречая сопротивления или замедляющего воздействия, его движение будет постоянно увеличиваться. Обнаруживается, что *увеличение* движения является постоянным или равномерным в течение каждой секунды. Это равномерное увеличение движения или скорости падающего тела дает одну из лучших имеющихся у нас иллюстраций равномерно ускоренного движения. (Статья 75.) С другой стороны, тело, брошенное вверх, имеет равномерно замедленное движение, то есть его ускорение направлено вниз. Скорость, которую приобретает падающее тело в единицу времени, называется его *ускорением*, или *ускорением под действием силы тяжести*, и равна 32,16 фута (980 см) в секунду, вниз, каждую секунду времени. Следовательно, за одну секунду падающее тело набирает скорость 32,16 фута (980 см) в секунду вниз. За две секунды оно набирает вдвое большую скорость и так далее.

В формулах ускорение свободного падения представлено через "g", а количество секунд - через t, поэтому формула для определения скорости, V,[F] падающего тела, начиная с состояния покоя, равна $V = gt$. При изучении силы тяжести (статья 89) мы узнали, что ее сила меняется по мере приближения к экватору или от него. (Как?) На 38° широты ускорение свободного падения составляет 980 см в секунду каждую секунду времени.

97. Экспериментальное изучение падающих тел.—Изучать падающие тела экспериментально, наблюдая за падением беспрепятственных тел, является сложной задачей. Для уменьшения движения было использовано множество устройств, позволяющих наблюдать действие падающего тела в пределах лаборатории или лекционного зала. Самый простой из них и в некоторых отношениях наиболее удовлетворительный был использован Галилеем. Он состоит из наклонной плоскости, которая уменьшает эффективную составляющую силы тяжести, так что движение тела, катящегося вниз по плоскости, можно наблюдать в течение нескольких секунд. Для иллюстрации этого принципа была выбрана стальная фортепианная проволока, как самая простая и понятная. Эта проволока туго натягивается через всю комнату с помощью поворотной пряжки так, что ее наклон составляет примерно один к шестнадцати. (См. рис. 80.) По этой проволоке пускается утяжеленный шкив, и отслеживается расстояние, которое он проходит за 1, 2, 3 и 4 секунды. Исходя из этих наблюдений, мы можем вычислить расстояние, пройденное за каждую секунду, и скорость в конце каждой секунды.

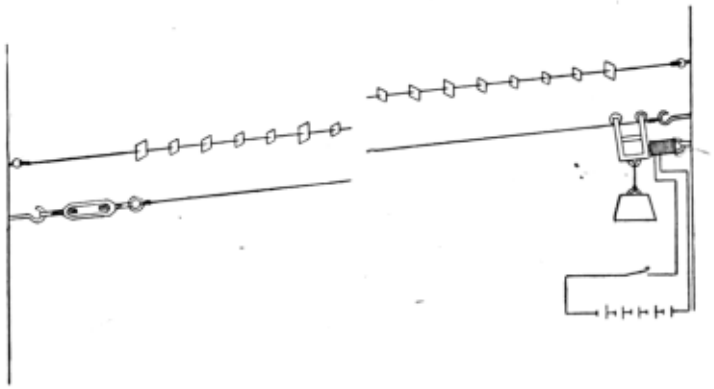


Fig. 80.—Apparatus to illustrate uniformly accelerated motion.

Рис. 80.—Устройство для иллюстрации равномерно ускоренного движения.

На рис. 63, если *OG* представляет вес тела или силу тяжести, то линия *ИЛИ* будет представлять эффективную составляющую вдоль провода, а *OS* - неэффективную составляющую по отношению к проводу. Поскольку отношение высоты самолета к его длине равно одному к шестнадцати, то движение по проволоке на рис. 80 будет составлять одну шестнадцатую движения падающего тела.

98. Подведение итогов.—В следующей таблице приведены результаты, полученные с помощью устройства, устроенного так, как показано выше.

В этой таблице столбец 2 содержит результаты, непосредственно наблюдаемые при использовании прибора. Столбцы 3, 4 и 5 вычисляются на основе предыдущих столбцов.

(1) Количество секунд	(2) Общее пройденное расстояние	(3) Расстояние каждую секунду	(4) Скорость в конце секунды	(5) Ускорение каждую секунду
			В секунду	В секунду
1	30 см.	30 см.	60 см.	60 см.
2	120 см.	90 см.	120 см.	60 см.
3	270 см.	150 см.	180 см.	60 см.
4	480 см.	210 см.	240 см.	60 см.

В столбце 5 показано, что ускорение является равномерным или одинаковым каждую секунду. В столбце 4 показано, что скорость увеличивается с увеличением количества секунд или что $V = at$. Столбец 3 показывает, что увеличение скорости движения от 1 секунды к следующей как раз равно ускорению или 60 см. Это представлено следующей формулой: $s = 1/2\ a(2t - 1)$.

Можно видеть, что результаты во втором столбце увеличиваются как 1:4:9:16, в то время как количество секунд изменяется как 1:2:3:4. То есть, *общее пройденное расстояние пропорционально квадрату количества секунд*.

Этот факт, выраженный в виде формулы, дает: $S = 1/2при^2$.

Подставляя g, символ ускорения свободного падения, вместо a в приведенных выше формулах, мы имеем: (1) $V = gt$, (2) $S = 1/2gt^2$, (3) $s = 1/2g(2t - 1)$.

99. Законы падающих тел.—Для тела, находящегося в состоянии покоя, эти формулы можно сформулировать следующим образом:

1. Скорость свободно падающего тела в конце любой секунды равна 32,16 фута в секунду или 980 см в секунду, умноженная на номер секунды.

2. Расстояние, пройденное свободно падающим телом за любое количество секунд, равно квадрату количества секунд, умноженному на 16,08 фута или 490 см.

3. Расстояние, пройденное свободно падающим телом за любую секунду, равно 16,08 фута или 490 см. умноженное на единицу, менее чем вдвое превышающую число секунды.

Важные темы

1. Падающие тела.

2. Эксперимент Галилея.

3. Ускорение под действием силы тяжести.

4. Законы падения тел.

Упражнения

1. Как далеко падает тело за первую секунду? Учтите тот факт, что это расстояние численно равно половине ускорения.

2. (a) Какова скорость падающего тела в конце первой секунды? (b) как далеко оно падает во вторую секунду? (c) учитывайте разницу между этими числами.

3. Какова скорость падающего тела в конце пятой секунды?

4. Как далеко падает тело (а) за 5 секунд (б) за 6 секунд (в) в течение шестой секунды?

5. (a) Какова разница между средней скоростью в течение шестой секунды и скоростью в начале этой секунды?

(b) Равна ли эта разница той, что была найдена во второй задаче? Почему?

6. Камень, сброшенный со скалы, долетает до ее подножия за 5 секунд. Какова высота скалы?

7. Почему увеличение веса тела при перемещении в более высокие широты приводит к тому, что оно падает быстрее, в то время как в одном и том же месте тяжелое тело падает не быстрее легкого?

8. Когда поезд покидает станцию, его ускорение постепенно уменьшается до нуля, хотя локомотив продолжает работать. Объясните.

9. Ожидаете ли вы, что движение одинаково гладких и совершенных сфер разного веса и материала будет одинаково ускоренным в одной и той же наклонной плоскости? Обосновите свой ответ. Попробуйте провести эксперимент.

10. Тело подбрасывается вверх со скоростью 64,32 фута в секунду. Сколько секунд оно будет подниматься? Как далеко оно поднимется? Сколько секунд он пробудет в воздухе, прежде чем ударится о землю?

11. 32,16 фута = сколько сантиметров?

12. Ускорение свободно падающего тела постоянно в любом месте. Что это говорит о притяжении, которое земля оказывает на тело?

(7) Маятник

100. Простой маятник.—Любое тело, подвешенное так, чтобы свободно раскачиваться взад и вперед, является маятником, как показано на рис. 81. Простой маятник определяется как отдельная частица вещества, подвешенная на шнуре без веса. Конечно, сконструировать

такой маятник невозможно. Небольшой металлический шарик, подвешенный на нитке, представляет собой примерно простой маятник. Когда ему позволяют качаться, его колебания совершаются с одинаковой частотой. Эту особенность движения маятника впервые заметил Галилей, наблюдая за медленными колебаниями бронзовой люстры, подвешенной в Пизанском соборе.

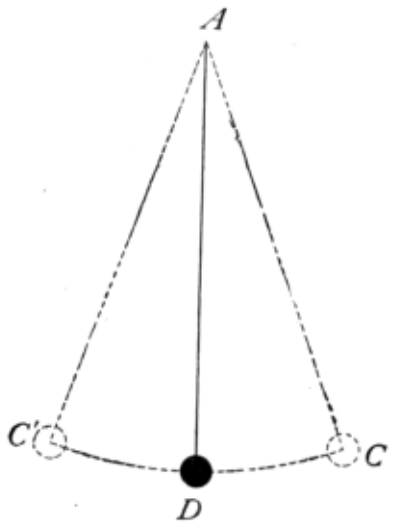


FIG. 81.—A simple pendulum.

Рис. 81 — Простой маятник.

101. Определение терминов. *Центр подвески* - это точка, вокруг которой раскачивается маятник. *Одиночное колебание* - это одно колебание по дуге. *Полная* или *двойная* вибрация - это качание по дуге и обратно. Время, необходимое для двойной вибрации, называется *периодом*. *Длина* простого маятника приблизительно равна расстоянию от точки опоры до центра боба.

А *Секундный маятник* - это маятник, совершающий одно колебание в секунду. Его длина на уровне моря в Нью-Йорке составляет 99,31 см или 39,1 дюйма, на экваторе 39,01 дюйма, на полюсах 39,22 дюйма.

А *Составной маятник* - это маятник, значительная часть массы которого находится в другом месте, а не в маленьком компактном теле или сфере, называемой бобом. Обычный часовой маятник или метровая палка, подвешенная за один конец, являются примерами составных маятников.

The *Амплитуда* вибрации равна половине дуги, по которой она проходит, например, дуга *постоянного тока* или угол *DAC* на рис. 81.

102. Законы маятника.—Могут быть установлены следующие законы:

1. Период вращения маятника не зависит от его массы или материала, из которого он изготовлен.

2. При малых амплитудах на период не влияет длина дуги, по которой он проходит.

3. Период прямо пропорционален квадратному корню из длины. Выражается математически, $t/t = \sqrt{l}/\sqrt{l}$.

103. Использование маятника.—Основное назначение маятника - регулировать ход часов. Колеса приводятся в движение пружиной или грузом, а регулирование осуществляется спусковым механизмом (рис. 82). При каждом колебании маятника один зуб колеса *D* проскальзывает мимо зубца на одном конце спускового механизма *C*, одновременно слегка

толкая спусковой механизм. Этот толчок, передаваемый маятнику, удерживает его в движении. Таким образом, контролируется движение рабочего колеса и стрелок. Другое применение маятника заключается в нахождении ускорения силы тяжести с помощью формулы, $t = \pi\sqrt{(l/g)}$, в которой t - время в секундах одного колебания, а l - длина маятника. Если, например, длина секундного маятника равна 99,31 см., то $1 = \pi\sqrt{(99{,}31/g)}$; возведя в квадрат обе части уравнения, мы имеем $1^2 = \pi^2(99{,}31/g)$, или $g = \pi^2 \times 99{,}31/1^2 = 980{,}1$ см. в секунду., в секунду. Из этого следует, что, поскольку сила тяжести зависит от расстояния от центра земли, маятник может использоваться для определения высоты места над уровнем моря, а также формы земли.

Важные темы

1. Простой маятник.

2. Определения используемых терминов.

3. Законы маятника.

4. Использование маятника.

Упражнения

1. Какова обычная форма выступа маятника часов? Почему эта форма используется вместо сферы?

2. Как снятие бобышки с маятника часов влияет на его движение? Также на движение стрелок?

3. Как расширение стержня маятника летом и его сжатие зимой влияют на отсчет времени часами? Как это можно исправить?

4. В главных часах, которые контролируют время в железнодорожной системе, есть стаканчик ртути. Это автоматически поддерживает одинаковую частоту вибрации при любых изменениях температуры. Каким образом?

5. Как будет выглядеть длина секундного маятника в Денвере, на высоте 1 мили над уровнем моря, по сравнению с длиной маятника в Нью-Йорке? Почему?

FIG. 82.—Escapement and pendulum of a clock.

Рис. 82—Спусковой механизм и маятник часов.

6. Каков период маятника длиной 9 дюймов? долго? *Примечание.* В задачах, связанных с использованием третьего закона, используйте длину секундного маятника для *l*и назовите его период 1.

7. Высота замаха составляет 20 футов. найдите время, необходимое для одного замаха по дуге.

8. Длина маятника составляет 60 см. Каков его период?

9. Если в спортивном зале ученику требуется 3 секунды. чтобы качнуться один раз поперек, повиснув на кольце, какой длины получается маятник?

10. Маятник часов совершает четыре колебания в секунду, какова его длина?

Схема обзора: Сила и движение

Сила; определение, элементы, способ измерения, единицы измерения, динамы.

Графическое представление; типичные примеры нахождения компонента, результирующей или равновесия.

Движение; Законы движения (3), инерция, криволинейное движение, центробежная сила, импульс ($M = mv$), реакция, напряжение и деформация.

Момент силы; параллельные силы, пара, эффективная и неэффективная составляющие.

Гравитация; закон; сила тяжести, центр тяжести; вес. Равновесие 3 формы; стабильность, насколько увеличена.

Падающие тела; скорость, ускорение, "g", Законы; $V = gt$, $S = (1/2)gt^2$ - $s = (1/2)g(2t - 1)$.

Маятник; простые, секундные законы (3), $t = \pi\sqrt{(l/g)}$.

ГЛАВА VI

РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

104. Работа.— "Всякий раз, когда сила приводит в движение тело, на которое она воздействует, говорят, что она воздействует на это тело". Например, если человек толкает тачку по дорожке, он выполняет работу над ней до тех пор, пока тачка движется, но если тачка ударяется о камень, а человек продолжает толкать и никакого движения не происходит, то с научной точки зрения он тогда не выполняет никакой работы над ней.

"Работа означает преодоление сопротивления", и пока сопротивление не преодолено, никакая работа не выполняется. Поднимать вес - значит выполнять работу над ним, поддерживать вес - нет, хотя последнее может быть почти таким же утомительным, как первое. Работа в научном смысле - это технический термин. Не придавайте этому значения, которое оно имеет в повседневной речи.

105. Измерение работы.—Работа измеряется произведением силы на смещение, вызванное в направлении действия силы, то есть $W = fs$. Следовательно, если единица силы воздействует через единицу пространства, будет выполнена единица работы. Естественно, существует несколько единиц работы в зависимости от используемых единиц силы и пространства.

Рабочая группа по английскому языку.—Если сила в один *фунт* действует на расстоянии одного *фута*, выполняется работа в *фут-фунт*. Фут-фунт определяется как работа, выполняемая при подъеме 1 фунта на 1 фут против силы тяжести.

Метрическая рабочая единица.—Если усилие составляет один *килограмм*, а расстояние - один *метр*, *работа выполнена на один килограмм-метр*.

Абсолютная единица измерения.—Если сила в одну *дину* действует на расстоянии в один *сантиметр* а *dyne-centimeter*. Обычно это называется i. Иногда используются другие рабочие единицы в зависимости от используемых единиц усилия и расстояния. Единица, i, равна 10 000 000 эрг или 10^7 эрг.

Проблема.—Если команда, нагруженная 500 фунтами, тянет груз 2 мили. форс, сколько работы уже сделано?

Решение.—Поскольку применяемое усилие составляет 500 фунтов, а расстояние составляет 2 × 5280 футов, выполняемая работа составляет 500 × 2 × 5280 или 5 280 000 футов-фунтов.

106. Энергия.—В различных случаях, предложенных в параграфах, посвященных работе, агент, человек, животное или машина упоминались как прилагающие усилия для выполнения работы. Верно также, что для выполнения работы агент должен использовать *энергию, или энергия тела - это его способность выполнять работу*. Там, где агент воздействует на тело, например, при заводке пружины или при поднятии груза, тело, над которым была проделана работа, может приобретать энергию, если над ним проделана работа. То есть, он может стать способным сам выполнять работу над каким-то другим телом. Например, поднятый груз при возврате в свое первоначальное положение может вращать колеса или вбивать столб в землю вопреки сопротивлению; спиральная пружина может запустить часовой механизм, нанести удар или закрыть дверь. Следовательно, энергия, или способность к выполнению работы, часто приобретается телом, потому что работа сначала была проделана над этим телом.

107. Потенциальная энергия.—Заведенная пружина может работать, потому что с ней сначала была проделана работа. Поднятый груз также может выполнять работу, потому что сначала была проделана работа по поднятию его в приподнятое положение, поскольку при падении он может размолоть предмет в порошок, поднять другой груз или выполнить какую-либо другую работу. *Энергия, которой обладает тело в зависимости от его положения или формы и напряжения, которому оно подвергается, называется потенциальной энергией.* Потенциальная энергия тела измеряется работой, проделанной при его подъеме, изменении его формы или создании условий, при которых оно может выполнять работу. Таким образом, если железный блок весом 2000 фунтов поднять на 20 футов, он обладает потенциальной энергией 40 000 футов-фунтов. Таким образом, возвращаясь в исходное положение, он способен выполнять работу весом 40 000 футов-фунтов. Если только что упомянутый блок упадет со своего возвышенного положения на столбе, он может вбить столб в землю, потому что его движение в момент удара позволяет ему выполнять работу. Чтобы вычислить потенциальную энергию, вы вычисляете работу, проделанную над телом. То есть, $P.E. = w \times h$ или $f \times s$.

108. Кинетическая энергия.—*Энергия, обусловленная движением тела, называется кинетической энергией*. Количество кинетической энергии в теле может быть измерено объемом работы, проделанной для приведения его в движение. Однако обычно оно вычисляется с использованием его массы и скорости при ударе. Чтобы проиллюстрировать, 100-фунтовый мяч поднимается на 16 футов. Проделанная им работа и, следовательно, его потенциальная энергия составляют 1600 фут-фунтов. При повторном падении на землю эта энергия преобразуется в кинетическую энергию, или при ударе кинетическая энергия составит 1600 футов-фунтов. Следует отметить, что поскольку энергия измеряется работой, которую она может выполнить, при измерении энергии всегда используются рабочие единицы. Чтобы вычислить кинетическую энергию падающего тела, просто используя его массу и скорость, при решении приведенной выше задачи поступаем следующим образом:

Сначала найдите скорость падающего тела, которое упало на 16 футов. Тело падает на 16 футов за *одну* секунду. За это время оно набирает скорость 32 фута в секунду. Теперь, используя формулу для кинетической энергии $К.Э.Н. = wv^2/(2g)$, мы имеем $К.Э.Н. = 100 \times 32 \times 32/(2 \times 32) = 1600$ фут-фунты, как и раньше. Формула, $К.Е. = wv^2/(2g)$, может быть получена следующим образом:

Кинетическая энергия падающего тела равна работе, проделанной при придании ему движения, то есть $К.Э.Н. = w \times C$, в которой w = вес тела и S = расстояние, на которое тело должно свободно упасть, чтобы приобрести свою скорость. Расстояние, пройденное свободно падающим телом, $S, = 1/2gt^2 = g^2t^2/(2g)$ (ст. 98, стр. 111). Теперь, $v = gt$ и $v^2 = g^2t^2$.

Подставляя в g^2t^2 значение, равное v^2, мы имеем $S = v^2/(2g)$. Подставляя это значение S в уравнение $KE = w \times S$, получаем $KE = wv^2/(2g)$.

Поскольку кинетическая энергия движущегося тела зависит от его массы и скорости, а не от *направления* движения, эта формула может быть использована для определения кинетической энергии любого движущегося тела. Масса и утяжелитель в таких задачах могут считаться численно равными.

Важные темы

1. Работа определена.

2. Рабочие единицы, фут-фунт, килограмм-метр, эрг.

3. Определена энергия.

4. Виды энергии, потенциальная и кинетическая.

Проблемы

1. Сколько работы выполнит мальчик весом 120 фунтов, взбираясь на гору высотой 3000 футов ? Следует ли использовать высоту по вертикали или наклону? Почему?

2. В шахте поднято 4000 кг. угля на 223 метра: сколько работы выполняется над углем? Каким видом и количеством энергии обладает уголь?

3. Забойщик свай весит 450 фунтов. Его поднимают на 16 футов. Сколько работы над ним было проделано? Каким видом и количеством энергии он будет обладать после падения с высоты 16 футов на сваю?

4. Поезд весом 400 тонн движется со скоростью 30 миль в час. Вычислите его кинетическую энергию. (Измените его вес на фунты, а скорость - на футы в секунду.)

5. Какой была бы кинетическая энергия поезда в задаче 4, если бы он двигался со скоростью 60 миль в час? Если бы он двигался со скоростью 90 миль в час? Как удвоение или утроение скорости объекта влияет на его кинетическую энергию? Как это влияет на его импульс?

6. Какова кинетическая энергия пушечного ядра весом 1600 фунтов, движущегося со скоростью 2000 футов в секунду?

7. Назовите как можно больше видов механической работы и покажите, насколько каждая из них соответствует определению работы.

8. Забойщик свай весом 3000 фунтов. поднимается на 10 футов. Сколько работы с ним выполняется?

9. Если забиватель свай в задаче 8 уронить на верхушку сваи, которая выдерживает среднее сопротивление в 30 000 фунтов, на какую глубину он продвинется одним ударом?

10. Камень весом 40 кг кладется на верхушку дымохода высотой 50 метров. Рассчитайте проделанную работу в килограммах-метрах и футах-фунтах.

(2) Власть и энергия

109. Мощность в лошадиных силах.—При вычислительной работе не учитывается время, необходимое для ее выполнения. Но поскольку время, необходимое для выполнения обязательства, имеет большое значение, важным фактором является темп работы, или *мощность или активность* агента. Таким образом, если одна машина может выполнить часть работы за одну пятую времени, требуемого другой машиной, говорят, что она в пять раз мощнее другой. Следовательно, мощность машины - это *скорость, с которой она может выполнять работу*. Джеймс Уатт (1736-1819), изобретатель паровой машины, для *выражения* мощности своего двигателя использовал в качестве единицы измерения *лошадиную силу*. Он подсчитал, что лошадь может выполнять 33 000 футов-фунтов работы в минуту. Это равно 550 футам-фунтам в секунду или 76,05 кг-м. в секунду. Это слишком высокое значение, но оно использовалось еще с его времен. Мощность паровых двигателей обычно выражается в лошадиных силах. То есть локомотивы развивают от 500 до 1500 лошадиных сил. Некоторые стационарные и судовые двигатели развивают мощность до 25 000 лошадиных сил. Мощность средней лошади составляет около 3/4 лошадиной силы, а человека - около 1/7 лошадиной силы при непрерывной работе в течение нескольких часов.

110. Ватт.—В метрической системе эрг как единица работы дает в качестве единицы мощности 1 эрг в секунду. Однако это количество настолько мало, что обычно используется более крупная единица измерения, практическая единица измерения составляет 10 000 000 эргов в секунду, то есть один джоуль в секунду. (См. статью 105.) Эта практическая единица

называется *Ватт* в честь Джеймса Уатта. Мощность динамо-машин обычно выражается в киловаттах, причем киловатт равен 1000 ваттам. Паровые двигатели в современной практике часто оцениваются в киловаттах, а не в лошадиных силах. Мощность в лошадиных силах эквивалентна 746 Вт, или почти 3/4 киловатта.

111. Энергия. Ее перенос и трансформация. Мы рассмотрели энергию как способность совершать работу и отметили два ее вида, потенциальную и кинетическую, а также легкость, с которой одна может превращаться в другую. На самом деле, передача энергии от одного тела к другому и ее преобразование из одной формы в другую является одним из наиболее распространенных процессов в природе. Возьмите маятник в движение, в *конце* качелях, его энергия целиком из-за его возвышенности-это все *потенциальные*; в *низкой* точке своего пути, его энергия целиком за счет своего движения-это все, *кинетический*. Смена происходит автоматически, пока качается маятник. Запускается двигатель, прикрепленный ремнем к стиральной машине. Энергия двигателя передается ремнем в стиральную машину, где она используется для протирания и перемещения одежды.

Тепло, используемое для обогрева дома, обычно получается при сжигании угля или древесины. Считается, что уголь образуется из остатков растений, которые росли в прежние геологические времена. Эти растения выросли с помощью лучистой энергии солнца. Ниже приведены преобразования энергии, которые произошли: Лучистая энергия солнечного света была преобразована в *химическую* энергию растений. Она оставалась в виде химической энергии, пока растения перерабатывались в уголь, ее добывали, подносили к плите или топке и сжигали. При горении химическая энергия преобразуется в тепловую энергию, в виде которой мы используем ее для обогрева помещений. Возьмем энергию, используемую для движения трамвая, электрическая энергия которого поступает от водопада. Энергия самого автомобиля механическая. Однако его двигатель получает электрическую энергию и преобразует ее в механическую. Эта электрическая энергия поступает по проводу от динамо-машины у водопада, где водяные колеса и генераторы преобразуют в электрическую энергию механическую энергию падающей воды. Вода получала энергию своего положения, испаряясь под действием тепла лучистой энергии солнца. Пар, поднимающийся в воздух, конденсируется в облака и дождь и, падая на склон горы, с высоты своего положения обладает потенциальной энергией. Таким образом, порядок преобразования в данном случае таков: лучистый, тепловой, механический, электрический и механический. Можете ли вы шаг за шагом отследить энергию солнца до энергии, которую вы используете при чтении этой страницы?

112. Формы энергии.—Паровой двигатель, прикрепленный к составу вагонов, использует свою энергию для приведения вагонов в движение, *т.е.*, для придания им кинетической энергии и преодоления сопротивления движению. Но каков источник энергии двигателя? Он содержится в угле, который он перевозит в своем тендере. Но какого вида? Конечно, не кинетический, поскольку не видно никакого движения. Следовательно, он является потенциальным. Каков источник энергии угля? Этот вопрос возвращает нас ко времени образования угольных пластов, когда растения росли на солнце и накапливали энергию солнечного тепла и света в виде *химической* энергии. Солнечный свет приносит на землю энергию солнца, этого центрального хранилища энергии, которое обеспечивает почти всю доступную энергию на земле. Известны пять *форм* энергии, а именно механическая, тепловая, электрическая, лучистая и химическая.

113. Энергия, распознаваемая по ее эффектам.—Подобно силе, энергия невидима, и мы осознаем ее формы только по производимым ею эффектам.

Мы распознаем *тепло* по *потеплению*, расширению, давлению.

Мы распознаем *свет* по *потеплению*, по тому, как он влияет на зрение.

Мы распознаем *электрическую* энергию по ее теплу, свету, движению или магнитному эффекту. Мы распознаем *механическую* энергию по *движению*, которое она производит. Мы распознаем *химическую* энергию, зная, что источник энергии не относится ни к одному из вышеперечисленных.

Мальчик или девочка способны выполнять значительную работу. Следовательно, они обладают энергией. В какой форме в основном проявляется энергия тела? Каждый может определить это для себя, задавая вопросы к каждой форме энергии по очереди, как в статье 114.

114. Источник энергии человеческого тела.—Является ли энергия человеческого тела в основном тепловой? Нет, поскольку мы не очень теплые. Это свет или электричество? Очевидно, нет, поскольку мы не являемся ни светящимися, ни электрическими. Это механическое? Нет, поскольку мы сохраняем свою энергию даже в состоянии покоя. Это химическое вещество? Оно должно быть, поскольку не является ни одним из других. Химическая энергия содержится внутри молекулы.

Это форма потенциальной энергии, и считается, что она обусловлена положением атомов внутри молекулы. Подобно тому, как туго скрученная часовая пружина может содержать внутри себя много энергии, которая высвобождается при раскручивании пружины, так и химическая энергия высвобождается при запуске химической *реакции*. Порох и динамит являются примерами веществ, содержащих химическую энергию. При их взрыве образуются тепло, свет и движение. Бензин, керосин и осветительный газ покупаются из-за содержащейся в них потенциальной энергии. Эта энергия высвобождается при их сжигании или взрыве.

Источником энергии нашего организма, конечно же, является пища, которую мы едим. Энергия, содержащаяся в пище, также является химической. Овощи получают энергию от солнечного света (лучистая энергия). Вот почему растения не будут расти в темноте. Доступная энергия в основном содержится в виде крахмала, сахара и масла. Пищеварение используется главным образом для растворения этих веществ, чтобы кровь могла поглощать их и переносить к тканям организма, где они необходимы. Энергия высвобождается в результате окисления (горения), необходимый для этого кислород поступает при дыхании. Дыхание также удаляет углекислый газ, который образуется в результате горения. Именно из-за его энергии больше всего требуется наша пища.

115. Сохранение энергии.—При изучении материи мы узнали, что она неразрушима. Считается также, что энергия неразрушима. Этот кратко изложенный принцип учит, что *несмотря на бесчисленные изменения, которым подвергается энергия, количество ее во Вселенной неизменно*, и хотя энергия может покидать землю и теряться, насколько это касается нас, она где-то существует в той или иной форме. Принцип, который учит этому, называется "Сохранение энергии". Считается, что формой, в которую энергия в конечном итоге преобразуется, является тепло.

Важные темы

1. Определение мощности. Единицы измерения. Лошадиная сила. Ватт.

2. Перенос и преобразования энергии.

3. Формы энергии: тепловая, электрическая, механическая, лучистая, химическая.

4. Воздействие нескольких форм энергии.

5. Энергия человеческого тела.

6. Сохранение энергии.

Упражнения

1. Мальчик весом 110 фунтов. взбежал по лестнице высотой 10 футов за 4 секунды. Сколько работы было проделано? Какой была его *скорость* работы (фут-фунты в секунду)? Выражайте также в лошадиных силах.

2. Локомотив, тянущий поезд, прилагает усилие тяги 11 000 фунтов. Сколько работы он выполняет, перемещаясь на 3 мили? Какова его *скорость* работы, если он преодолевает 3 мили за 5 минут? Выразить в лошадиных силах.[G]

3. Если 400 кг. поднимаются на 35 метров за 5 секунд, какая работа выполняется? Какова скорость выполнения работы? Выразить в лошадиных силах, ваттах и киловаттах.

4. Проследите энергию движущегося железнодорожного состава до ее источника на солнце.

5. Почему вращение винта моторной лодки приводит лодку в движение?

6. Требуется ли больше энергии, чтобы подняться по лестнице за 5 секунд, чем за 10? Объясните. В одном случае выполняется больше работы, чем в другом? Почему?

7. Может ли 1 человек, таскающий кирпичи на определенную высоту в течение 120 дней, выполнить столько же работы, сколько 120 человек, таскающих кирпичи в течение 1 дня?

8. Если 1 человек и 120 человек из задачи 7 выполняют одинаковый объем работы, обладают ли они одинаковой мощностью? Объясните.

9. Если 160 куб. футов воды протекают каждую секунду через плотину высотой 15 футов , какова доступная мощность?

10. Какой мощностью должен обладать двигатель, чтобы заполнить бак размером 11 × 8 × 5 футов водой, превышающей уровень подачи на 120 футов, за 5 минут?

11. Тележка для перевозки грузов весом 150 фунтов. переносит груз кирпичей весом 100 фунтов. поднимается по лестнице высотой 30 футов. . Сколько работы он выполняет?

12. Сколько работы может выполнить двигатель мощностью 4 лошадиные силы за 5 минут?

13. Найдите мощность ветряной мельницы, которая перекачивает 6 тонн воды из колодца глубиной 90 футов за 30 минут.

14. Сколько лошадиных сил в водопаде высотой 20 футов. над которым за минуту проходит 500 кубических футов воды?

15. Расход чикагского дренажного канала составляет около 6000 кубических футов в секунду. Если на контролирующих работах имеется падение на 34 фута. сколько лошадиных сил можно развить?

16. Сколько времени потребуется насосу мощностью 10 лошадиных сил, чтобы заполнить бак емкостью 4000 галлонов, расположенный на высоте 300 футов над насосом?

17. Мальчик весом 162 фунта. поднимается по вертикальной лестнице на высоту 14 футов за 14,6 секунды. Какой властью он обладает?

18. Тот же мальчик выполняет ту же работу второй раз за 4,2 секунды. Какую силу он прикладывает на этот раз? В чем причина разницы?

19. Что такое лошадиная сила в час? киловатт-час?

(3) Простые механизмы и рычаг

116. Машины и их использование.—Человек, стоя на земле, может натянуть флаг на верхушку шеста с помощью веревки, перекинутой через блок.

Мальчик может отвинтить плотно прилегающую гайку, которую он не может сдвинуть пальцами, с помощью гаечного ключа.

Женщина может сшить длинный шов с помощью швейной машины за гораздо меньшее время, чем вручную.

Девушке гораздо быстрее и проще застегнуть туфли с помощью крючка, чем пальцами.

На этих иллюстрациях показаны некоторые причины использования машин. На самом деле практически невозможно эффективно выполнять какую-либо работу без использования одной или нескольких машин.

117. Преимущества машин.—(a) Многие машины обеспечивают *повышенную скорость*, как в швейной машине или велосипеде.

(b) Другие машины прилагают *повышенное усилие*. Веревка и набор блоков могут позволить мужчине поднять тяжелый предмет, такой как сейф или пианино. Используя штангу, мужчине легче сдвинуть большой камень. (См. рис. 83.)

FIG. 83.—The rock is easily moved.

Рис. 83.—Камень легко перемещается.

(c) *Направление* силы может быть изменено, что позволяет выполнять работу, которая в противном случае была бы затруднена. Как, например, использование шкива при поднятии флага на вершину флагштока или при подъеме ведра с рудой из шахты с помощью лошади, привязанной к веревке, проходящей через два или более шкивов. (См. рис. 84.)

(d) *могут использоваться* не только люди или животные*, но и другие агенты,* такие как электричество, энергия воды, ветер, пар и т.д. На рис. 85 представлена ветряная мельница, часто используемая для перекачки воды.

Машина - это устройство для передачи или преобразования энергии. Поэтому обычно это инструмент для выполнения работы. Электродвигатель - это машина, поскольку он *преобразует* энергию электрического тока в движение или механическую энергию и *передает* энергию от проволоки к приводному шкиву.

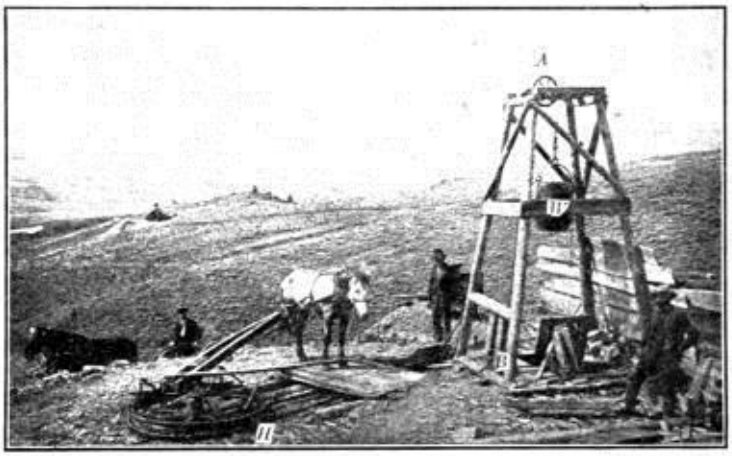


FIG. 84.—The horse lifts the bucket of ore.

Рис. 84. Лошадь поднимает ковш с рудой.

118. Машина не может создавать энергию.—Все, что воздействует на машину (человек, движущаяся вода, ветер и т.д.), теряет энергию, которая используется для выполнения работы машины. Ножницы - это машина, поскольку они передают энергию от руки к режущим кромкам. Наши собственные тела часто рассматриваются как машины, поскольку они одновременно передают и преобразуют энергию.

Мы должны иметь в виду, что *машина не может создавать энергию*. Принцип "Сохранения энергии" столь же очевиден с одной стороны, как и с другой. Точно так же, как энергия не может быть уничтожена, так и энергия не может быть создана. Машина может выдавать не больше энергии, чем ей положено. Она действует просто как средство передачи энергии от одного тела к другому. Было приложено много усилий для создания машин, которые после запуска будут работать сами по себе, выделяя больше энергии, чем они получают. Такие усилия, называемые поиском *вечного двигателя*, никогда не увенчивались успехом. Этот факт является убедительным доказательством в пользу принципа сохранения энергии.

FIG. 85.—A windmill.

Рис. 85.—ветряная мельница.

119. Закон машин.—Когда тело получает энергию, над ним выполняется работа. Следовательно, работа выполняется над машиной, когда она получает энергию, и машина выполняет работу над телом, которому она отдает энергию. Таким образом, при работе машины необходимо учитывать две величины работы, и, согласно принципу сохранения энергии, эти две величины должны быть равны. *Работа, выполняемая машиной, равна работе, выполняемой над ней, или энергия, выделяемая машиной, равна энергии, получаемой ею.* Каждая из этих двух величин работы должна состоять из *силового* фактора и *пространственного* фактора. Следовательно, при работе машины необходимо учитывать две силы и два пространства. Силовой коэффициент работы, выполняемой на станке, называется *силой* или *усилием*. Это сила, приложенная к машине. Коэффициент силы работы, выполняемой машиной, называется *весом или сопротивлением*. Это сила, прилагаемая машиной при преодолении сопротивления, и равна преодолеваемому сопротивлению.

Если f представляет силу или усилие, а D_f пространство, через которое оно действует, и w представляет вес или сопротивление, а D_w пространство, через которое оно действует, тогда закон машин может быть выражен уравнением, $f \times D_f = w \times D_w$. То есть, *усилие, умноженное на расстояние, на которое действует усилие, равно сопротивлению, умноженному на расстояние, на которое перемещается или преодолевается сопротивление*. Когда произведение двух чисел равно произведению двух других чисел, любая пара может быть сделана средним значением, а другая - крайними значениями пропорции. Следовательно, приведенное выше уравнение может быть выражено как $w: f = D_f: D_w$. Или сопротивление соответствует усилию, поскольку расстояние от усилия равно расстоянию от сопротивления. Таким образом, закон машин может быть выражен несколькими способами. Однако следует иметь в виду, что *один и тот же* закон машин выражен, даже если форма отличается. Какие два способа выражения закона даны?

120. Простые машины.—Существует всего шесть *простых машин*. Все известные разновидности машин являются простыми модификациями и комбинациями шести простых машин. Шесть простых машин легче запомнить, если разделить их на две группы по три в каждой. Первая, или *рычажная* группа, состоит из тех станков, в которых деталь вращается вокруг неподвижной оси. Он содержит *рычаг*, *шкив* и *колесо и ось*. Вторая, или *группа наклонных плоскостей,* включает те, которые имеют наклонную поверхность. Он содержит *наклонную плоскость*, *клин* и *винт*.

121. Рычаг.— *Рычаг* является одним из наиболее часто используемых простых механизмов, его можно увидеть в ножницах, метле, угольной лопате, хлысте, тачке, щипцах и т.д. *Рычаг состоит из жесткого стержня, способного поворачиваться вокруг неподвижной оси, называемой точкой опоры.* Изучая рычаг, человек хочет знать, какой вес или сопротивление он может преодолеть при приложении к нему определенной силы. Следовательно, схемы рычагов содержат буквы *w* и *f*. В дополнение к этому, *O* обозначает точку опоры, на которой он вращается. Обратившись к рис. 86, *a*, *b*, *c*, можно заметить, что каждый из них может занимать среднее положение между двумя другими. Две силы (отличные от силы, создаваемой точкой опоры), действующие на рычаг, всегда противодействуют друг другу при изменении вращения. Их можно рассматривать как пару параллельных сил, действующих на тело, каждая из которых стремится вызвать вращение.

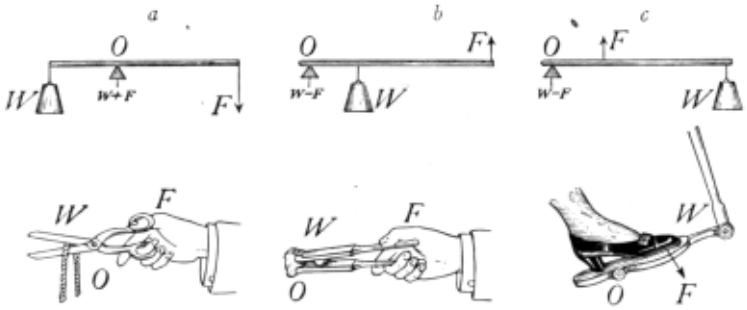


Fig. 86.—The three classes of levers.

Рис. 86.—Три класса рычагов.

122. Момент силы.Следовательно, *эффективность* каждой силы может быть определена путем вычисления ее *момента* относительно неподвижной оси (см. Статью 84), то есть путем умножения каждой силы на ее расстояние до точки опоры или оси вращения. В метровой палке просверлите небольшое отверстие на отметке 50 см у одного края и закрепите ее на гвозде, вбитом в вертикальную опору, и уравновесьте, проведя по ней изогнутой проволокой. Подвесьте на тонкой проволоке или нитке груз весом 100 г на расстоянии 15 см от гвоздя и груз весом 50 г на расстоянии 30 см от гвоздя, с другой стороны подставки. Будет установлено, что эти два веса уравновешивают друг друга. Если смотреть с этой стороны, то *A* (рис. 87) стремится повернуть рычаг по часовой стрелке (вниз справа), *B* - против часовой стрелки (вниз слева). Поскольку рычаг находится в равновесии, силы оказывают равное и противоположное влияние на изменение его вращения, что также может быть вычислено путем определения момента каждой силы путем умножения каждой на ее расстояние от точки опоры. Следовательно, *эффективность* силы при изменении вращения зависит от расстояния от нее до оси, а также от величины силы.

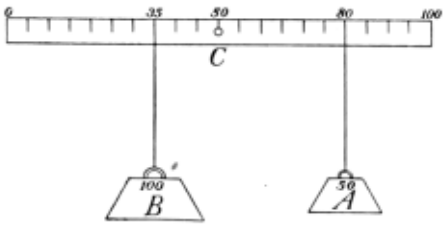


FIG. 87.—The two moments are equal about C. $100 \times 15 = 50 \times 30$.

Рис. 87.—Два момента равны относительно *C*. 100 × 15 = 50 × 30

Из только что описанного эксперимента следует, что момент действующей силы равен моменту веса или $f \times D_f = w \times D_w$, или усилие, умноженное на силовой рычаг, равно весу, умноженному на силовой рычаг. Это уравнение называется законом рычага. Это соответствует общему закону машин и также может быть записано $w: f = D_f: D_w$.

123. Механическое преимущество.— Рычаг часто дает преимущество, потому что с его помощью можно поднять камень или тяжесть, которые человек не смог бы сдвинуть с места без посторонней помощи. Если рычаг используется для подъема камня весом 500 фунтов, а доступное усилие составляет всего 100 фунтов, то его *механическое преимущество* будет равно 5, соотношение $w: f$. Аналогичным образом, механическое преимущество любой машины определяется путем нахождения отношения сопротивления или веса к усилию. Какой должна быть относительная длина рычага усилия и рычага сопротивления или веса в только что упомянутом примере? Поскольку усилие, умноженное на силовой рычаг, равно весу, умноженному на силовой рычаг, если $f \times D_f = w \times D_w$, то D_f в пять раз больше D_w. Следовательно, механическое преимущество рычага легко найти, найдя отношение силового рычага к силовому рычагу.

Важные темы

1. Преимущество машин.

2. Машины не могут создавать энергию.

3. Закон машин.

4. Шесть простых машин.

5. Рычаг и принцип действия моментов.

6. Механические преимущества машины.

Упражнения

1. Приведите шесть примеров рычагов, которыми вы пользуетесь.

2. На рис. 88*a* изображена пара ножниц для резки бумаги, на рис. 88*b* - пара жестяных ножниц. Какой из них имеет большее механическое преимущество? Почему? Объясните, почему каждый из них имеет наиболее эффективную форму для своей конкретной работы.

Рис. 88.—(*а*) Ножницы для бумаги. (*б*) Ножницы жестянщика.

3. Найдите примеры рычагов в швейной машине.

4. Что получилось бы, если бы в статье 122 гиря весом 100 г была помещена на расстоянии 25 см от О, а гиря весом 50 г - на расстоянии 45 см от О? Почему? Объясните, используя принцип моментов.

5. Как принцип рычага применяется при управлении гребной лодкой?

6. Почему, когда вы режете картон ножницами, вы открываете их пошире и режете около стержня?

7. При переноске груза на палке через плечо следует ли носить рюкзак рядом с плечом или снаружи на палке? Почему?

8. Как два мальчика на качелях могут запустить ее, не касаясь земли?

9. Поднимая лопату с песком, вы поднимаете ее одной рукой с такой же силой, с какой опускаете другой? Почему?

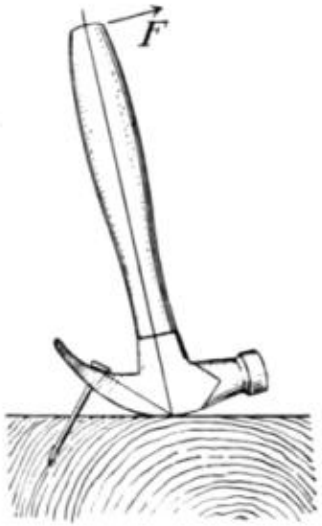


FIG. 89.—The hammer is a bent lever. What is its mechanical advantage?

Рис. 89. Молоток представляет собой изогнутый рычаг. В чем его механическое преимущество?

10. Почему петли ворот высотой 3 фута и шириной 16 футов должны быть прочнее петель ворот высотой 16 футов? в высоту и 3 фута в ширину?

11. Когда кто-то подметает метлой, выполняют ли руки одинаковый объем работы? Объясните.

12. Стержень длиной 6 футов используется в качестве рычага для подъема груза весом 500 фунтов. Если точка опоры расположена на расстоянии 6 дюймов. исходя из веса, какое усилие потребуется? Примечание: возможны два варианта расположения веса, точки опоры и усилия.

13. Ручка молотка имеет длину 12 дюймов. , а коготь, который используется для вытаскивания гвоздя, имеет длину 2,5 дюйма. долго. (См. рис. 89.) Усилие в 25 фунтов. требуется для вытягивания гвоздя. Каково сопротивление гвоздя?

14. Эффективная длина головки молотка составляет 2 дюйма. Длина рукоятки составляет 15 дюймов. гвоздь удерживается в дереве с усилием 500 фунтов. Всего 60 фунтов. усилие доступно на конце рукоятки. Каков будет результат?

15. Если усилие в 50 фунтов, действующее на машину, перемещается на 10 футов, на какое расстояние она может поднять вес в 1000 фунтов?

16. В качестве рычага используется стержень длиной 10 футов. Вес удерживается на расстоянии 2 футов от точки опоры. Какие различные рычаги он может представлять?

17. Силовое плечо рычага составляет 6 футов, весовое - 6 дюймов. Какой длины будет рычаг? Дайте все возможные ответы.

18. Двое мальчиков несут вес в 100 фунтов. на шесте длиной 5 футов между ними. Где должен быть размещен вес, чтобы один мальчик мог нести в один с половиной четвертый раз больше, чем другой?

(4) Колесо, ось и шкив

124. Колесо и Ось.-1. Одним из простых механизмов, наиболее часто применяемых в составных машинах, является *колесо* и *ось*. Он состоит из колеса *H* установленного на цилиндре *Y*, скрепленном вместе таким образом, что оба вращаются вокруг одной оси. На рис. 90 показаны тросы, прикрепленные к окружностям колеса и оси. Иногда в качестве тормоза грузового автомобиля или трамвая используется маховик или просто рукоятка, как показано на рис. 91. *Стержень* используется в движущихся зданиях. Иногда два или три колеса и оси соединяются вместе, как на буровой вышке или кране, как показано на рис. 92.

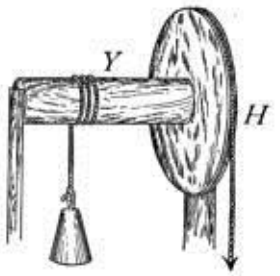


FIG. 90.—The wheel and axle

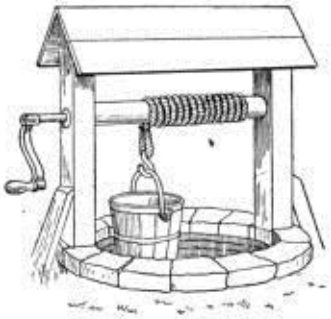


FIG. 91.—Windlass used in drawing water from a well.

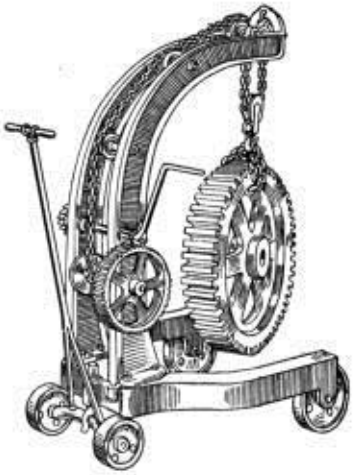


FIG. 92.—A portable crane.

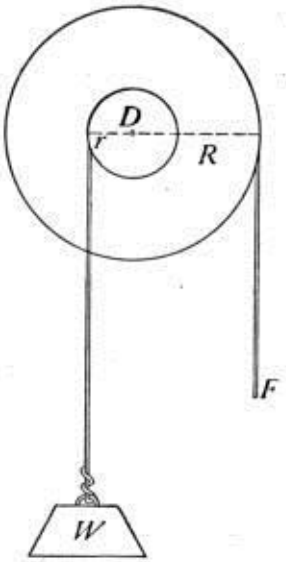


FIG. 93.—The wheel and axle considered as a lever.

Рис. 90—Колесо и ось.
Рис. 91.Лебедка, используемая для забора воды из колодца.
Рис. 92.— Переносной кран.
Рис. 93.—Колесо и ось, рассматриваемые как рычаг.

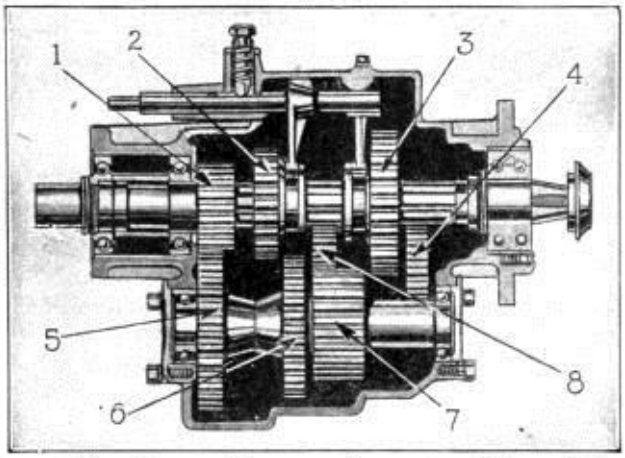


FIG. 94.—View of transmission gears in an automobile. 1, Drive gear; 2, High and intermediate gear; 3, Low and reverse gear; 4, 8, Reverse idler gears; 5, 6, 7, Countershaft gears. (*Courtesy of the Automobile Journal.*)

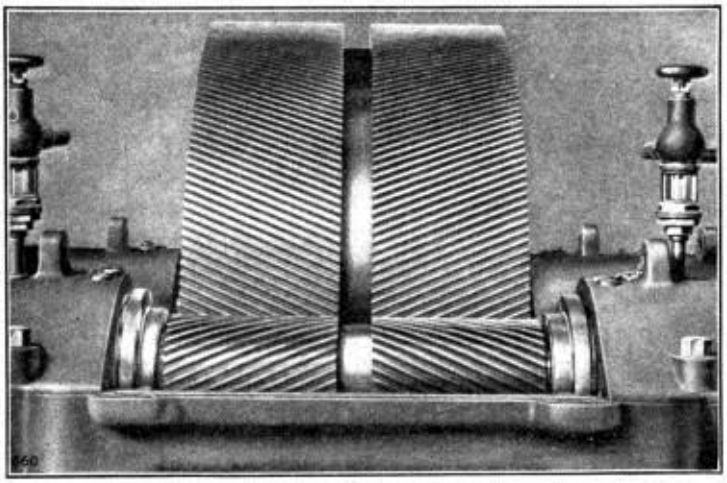


FIG. 95.—Reducing gear of a steam turbine.

Рис. 94.-Вид шестерен трансмиссии в автомобиле. 1, Ведущая шестерня; 2, Высокая и промежуточная шестерни; 3, Низкая и передача заднего хода; 4, 8, Шестерни заднего хода; 5, 6, 7, шестерни промежуточного вала. (*Любезно предоставлено the Automobile Journal.*)

Рис. 95.—Редуктор паровой турбины.

На рис. 93 приведена схема, показывающая, что колесо и ось действуют как рычаг. Ось *D* является точкой опоры, усилие прикладывается в точке *F*, на пределе радиуса колеса, а сопротивляющийся вес *W* на пределе радиуса оси. Следовательно, если D_f, расстояние между усилиями, в три раза больше, чем D_w, расстояние между весом, который можно поддерживать, в три раза больше усилия. Здесь, как и в рычаге, $f \times D_f = w \times D_w$, или $w: f = D_f:D_w$, или *отношение веса к усилию равно отношению радиуса колеса к радиусу оси*. Таким образом, в этом заключается механическое преимущество колеса и оси. Поскольку диаметры или окружности находятся в том же соотношении, что и радиусы, их можно использовать вместо радиусов. Иногда, когда требуется *увеличить скорость* вместо увеличения усилия, радиус колеса или детали, к которой прилагается усилие, меньше радиуса оси. Это видно на примере велосипеда, бензопилы и воздуходувки. Иногда для снижения скорости используются зубчатые колеса, использующие принцип колеса и оси, как в *трансмиссии* автомобиля (см. рис. 94) или в редукторе паровой турбины. (См. рис. 95 и 293.)

А *Коническая передача* часто используется для изменения направления усилия. (См. рис. 94.)

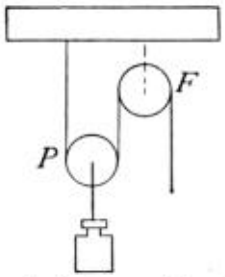


FIG. 96.—A single movable pulley.

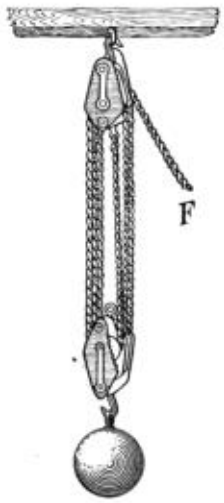


FIG. 97.—Block and tackle.

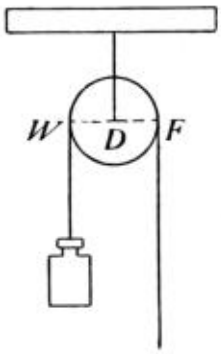


FIG. 98.—The fixed pulley considered as a lever.

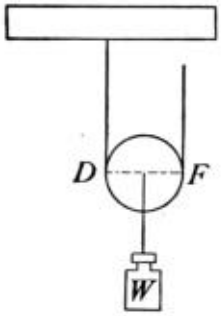


FIG. 99.—The movable pulley considered as a lever.

Рис. 96. — Одиночный подвижный шкив.
Рис. 97.—Блок и подкат.
Рис. 98.— Неподвижный шкив, рассматриваемый как рычаг.
Рис. 99.— Подвижный шкив, рассматриваемый как рычаг.

125. Шкив.— *Шкив* состоит из колеса, вращающегося вокруг оси в раме. Колесо называется шкивом, а рама - блоком. Обод может быть гладким или рифленым. Рифленый обод используется для крепления шнура или веревки. Одним из применений шкива является изменение *направления* действующей силы, как показано на рис. 84, где шкив *B* изменяет горизонтальную тягу при *H* на направленную вниз силу, а шкив *A* преобразует ее в направленную вверх силу, поднимающую груз *W*. Эти шкивы неподвижны и просто меняют направление. Без учета потерь на трение тяговое усилие при *W* будет равно тяговому усилию при *F*. Иногда к грузу прикрепляется шкив, с помощью которого его поднимают. Тогда это называется *подвижным шкивом*. На рис. 96 *подвижный шкив* находится в точке *P*, неподвижный шкив находится в точке *F*. При использовании *неподвижных шкивов* от веса к усилию проходит один шнур, так что при усилии в 100 фунтов. при приложении усилия такая же сила воздействует на груз. Но при использовании подвижных шкивов несколько секций шнура могут отходить вверх от груза, каждая с усилием, приложенным к ней. При таком расположении можно поднимать вес, в несколько раз превышающий прилагаемое усилие. На рис. 97 представлено то, что называется *блоком и снастью*. Если приложить усилие в 50 фунтов. при *F*, каждая секция каната будет иметь одинаковое натяжение, и, следовательно, шесть секций каната выдержат 300 фунтов. вес. Таким образом, *механическое преимущество шкива* или *отношение веса* к усилию *равно количеству секций шнура, поддерживающих вес*. Неподвижный шкив представляет собой рычаг, см. рис. 98, где

усилие и вес равны. В подвижном шкиве точка опоры (см. рис. 99) находится в точке *D*; вес, *W*, прикладывается к центру шкива, а усилие - в точке *F*. Расстояние между весом, D_w, равно радиусу, а расстояние между усилием, D_f, равно диаметру шкива. Поскольку $W / F = D_f / D_w = 2$ в подвижном шкиве, вес в два раза превышает усилие, или его механическое преимущество равно 2.

Важные темы

1. Колесо и Ось, Закон колеса и Оси.

2. Шкив, неподвижный и подвижный, Блок и снасть, Закон шкива.

Упражнения

1. Почему дверные ручки облегчают открывание дверей? Какой простой механизм они представляют? Объясните.

2. Какая комбинация шкивов позволит человеку весом 160 фунтов поднять пианино весом 900 фунтов?

3. Когда вы вытаскиваете гвоздь обычным молотком-гвоздодером, каков рычаг усилия? рычаг сопротивления?

4. Сколько работы выполняет машина в задаче 2 по подъему пианино на 20 футов? Сколько работы нужно проделать с машиной, чтобы выполнить эту работу?

5. Рулевое колесо лодки имеет диаметр 60 дюймов; диаметр оси равен 6 дюймам. Если сопротивление составляет 175 фунтов, какое усилие необходимо приложить к колесу?

6. Четверо мужчин поднимают со дна якорь, весивший {1 1/2} т, с лебедка (см. фиг. 110) с длиной ствола в 9. в диаметре. Окружность, описываемая ручными шипами, составляет {13 1/2} футов. в диаметре. Какую силу должен приложить каждый человек?

FIG. 100.—The capstan.

Рис. 100—Стержень.

7. Велосипед оснащен 28-в. колеса. Диаметр задней звездочки составляет 3 дюйма,[H] радиус рукоятки педали составляет 7 дюймов; 24 фунта. какое усилие, приложенное к педали, воздействует на обод колеса? Какой будет скорость вращения обода, когда педаль совершает один оборот в секунду?

8. Измерьте диаметры большого и малого шкивов на швейной машине у себя дома. Какое механическое преимущество в количестве оборотов это дает? Проверьте свои вычисления, повернув колесо и посчитав обороты.

9. Какое усилие требуется при использовании одного неподвижного шкива, чтобы поднять груз весом 200 фунтов? Насколько увеличится усилие при подъеме груза на 10 футов? В чем заключается механическое преимущество?

10. В приведенной выше задаче замените неподвижный шкив одним подвижным шкивом и ответьте на те же вопросы.

11. Какое наименьшее количество шкивов требуется для подъема груза весом 600 фунтов. с усилием 120 фунтов.? Как они должны быть расположены?

12. Буровая вышка для подъема сейфа весом 2 тонны использует систему шкивов, использующих 3 секции троса. Какое усилие требуется?

13. Назовите три случая, когда шкивы используются для выполнения работы, которую в противном случае было бы трудно выполнить.

14. Нарисуйте схему набора шкивов, с помощью которых 100 фунтов. можно поднять 400 фунтов.

(5) Наклонная плоскость. Эффективность

126. Эффективность.—Общий закон машин, который гласит, что работа, выполняемая машиной, равна работе, вложенной в нее, требует модификации, когда мы применяем закон на практике, по той причине, что при использовании любой машины возникает большее или меньшее трение из-за трущихся друг о друга частей машины и сопротивления воздуха при движении частей через него. Следовательно, формулировка закона, соответствующая реальным условиям труда, звучит примерно следующим образом: *Работа, вложенная в машину, равна полезной работе, выполняемой машиной, плюс потраченная впустую работа, выполненная ею. Эффективность* машины - это отношение *полезной* работы, выполняемой ею, к *общему* объему работы, выполняемой машиной. Если бы не было трений или напрасной работы, эффективность была бы идеальной, или, как это обычно выражают, составляла бы 100 процентов. Рассмотрим систему шкивов, на которые затрачивается 600 футов-фунтов работы. В результате полезной работы в 450 футов-фунтов эффективность составит 450 ÷ 600 = {3/4}, или 75%. В данном случае 25%. большая часть работы, выполняемой на станке, тратится впустую. В простом рычаге трение незначительное, так что достигается почти 100%-ная эффективность. часто обеспечивается эффективность.

Некоторые формы колеса и оси обладают высокой эффективностью, как в велосипедах с зубчатыми колесами. Другие формы, в которых используются тросы, имеют большее трение. Эффективность шкивов иногда достигает 40%. при использовании тяжелых канатов.

127. Наклонная плоскость.— Теперь мы подходим к типу *простых машин с более низкой эффективностью,* чем те, что упоминались ранее. Они относятся к группе наклонных плоскостей, которая включает наклонную плоскость (см. рис. 101), клин и винт. Однако они широко используются, несмотря на их низкую эффективность, из-за того, что часто дают высокие механические преимущества. *Связь между этими машинами может быть легко показана*, поскольку *клин*, очевидно, *представляет собой двойную наклонную плоскость*. В статье 82 показано, что усилие, необходимое для удержания груза на наклонной плоскости, относится к *весу* поддерживаемому, поскольку *высота* плоскости относится к ее *длине*.

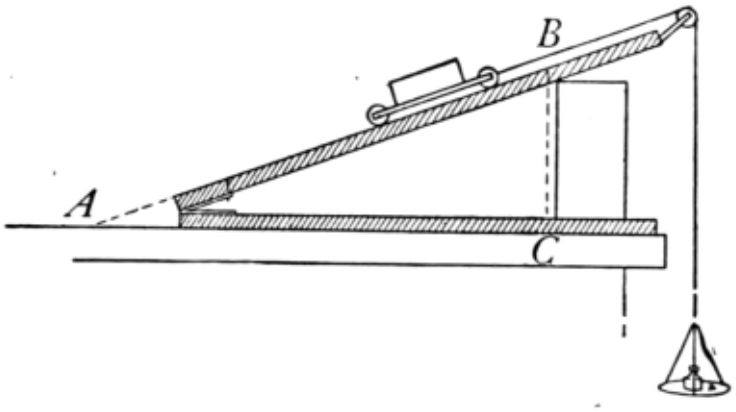


FIG. 101.—An inclined plane.

Рис. 101 — Наклонная плоскость.

Или при подъеме груза на вертикальную высоту *BC* усилие должно перемещаться по длине плоскости *AC*. Поскольку по закону машин усилие, умноженное на расстояние, равняется весу, умноженному на расстояние, или вес равен усилию, поскольку расстояние между усилием и весом равно расстоянию между весом, следовательно, механическим преимуществом наклонной плоскости является отношение длины к высоте наклонной плоскости.

Наклонные плоскости используются для подъема тяжелых предметов на короткие расстояния, например, бочек в фургон или железных сейфов в здание. Лестницы представляют собой наклонные плоскости с вырезанными в них ступенями.

128. Клин.—Клинья используются для разделения предметов, например, при колке дров (см. рис. 102), рубке древесины и там, где требуется приложить большое усилие на коротких расстояниях. Топор - это клин, как и нож. Вилка состоит из нескольких круглых клиньев, закрепленных в ручке. Кромка любого режущего инструмента представляет собой либо наклонную плоскость, либо клин. Наши передние зубья представляют собой клинья. У нас можно увидеть множество примеров наклонных плоскостей.

Нельзя дать однозначного представления о механических преимуществах клина, поскольку выполняемая работа в значительной степени зависит от трения. Используемое усилие обычно прикладывается ударами по толстому концу. Как правило, чем длиннее клин для данной толщины, тем больше механическое преимущество.

FIG. 102.—One use of the wedge.

Рис. 102.Одно из применений клина.

129. Винт.—Винт представляет собой цилиндр, по окружности которого проходит спиральная канавка. (См. рис. 103.) Выступающая часть между двумя соседними канавками является **резьбой** винта. Винт вращается в блоке, называемом **гайкой**, внутри которого находится спиральная канавка и резьба, точно соответствующие резьбе винта. Расстояние между двумя последовательными резьбами, измеренное параллельно оси, называется

шагом винта. (См. рис. 104.) Если резьба обматывается вокруг цилиндра десять раз с интервалом в 1 дюйм, считается, что винт имеет десять резьб на дюйм с шагом {1/10} дюйма. Винт обычно поворачивается рычагом или колесом с усилием, приложенным к концу рычага или по окружности колеса. В то время как усилие перемещается один раз по окружности колеса, груз продвигается вперед на расстояние, равное расстоянию между двумя резьбами (шаг винта). Следовательно, работа, выполняемая усилием, равна $F \times 2nr$, r - радиусу колеса, а работа, выполняемая весом, равна $W \times s$, s - шагу винта. По закону машин $F \times 2nr = W \times s$ или $W / F = (2nr) / s$. Следовательно, механическое преимущество винта равно $(2nr) / c$. Поскольку расстояние, на которое перемещается груз, невелико по сравнению с расстоянием, на которое перемещается мощность, наблюдается значительный выигрыш в силе. Винт обычно используется там, где необходимо приложить *большое усилие* на небольших расстояниях, например, в тисках (рис. 105), винтовом домкрате (рис. 106), винтовых зажимах, для точного измерения небольших расстояний, например, в микрометре (рис. 107) и сферометре, и для уменьшения перемещения в устройствах для уменьшения скорости. Червячная передача (рис. 108) представляет собой модификацию винта, которая иногда используется там, где требуется значительное снижение частоты вращения.

FIG. 103.—The screw is a spiral inclined plane.

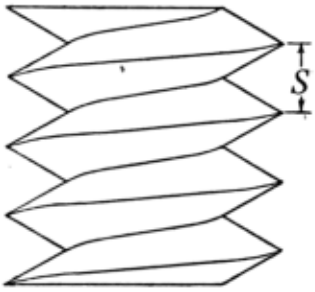


FIG. 104.—The pitch is *S*.

Рис. 103.—Винт представляет собой спиральную наклонную плоскость.
Рис. 104.—Шаг - *S*.

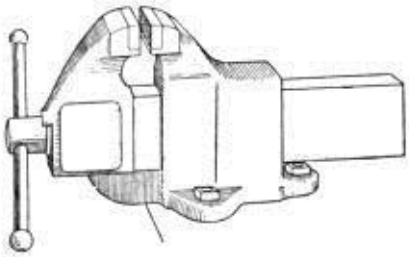


FIG. 105.—A vise.

FIG 106.—A jack screw.

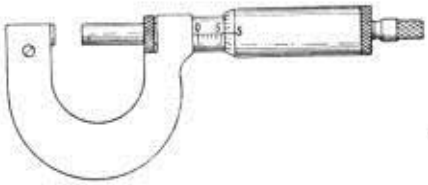


FIG. 107.—A micrometer screw.

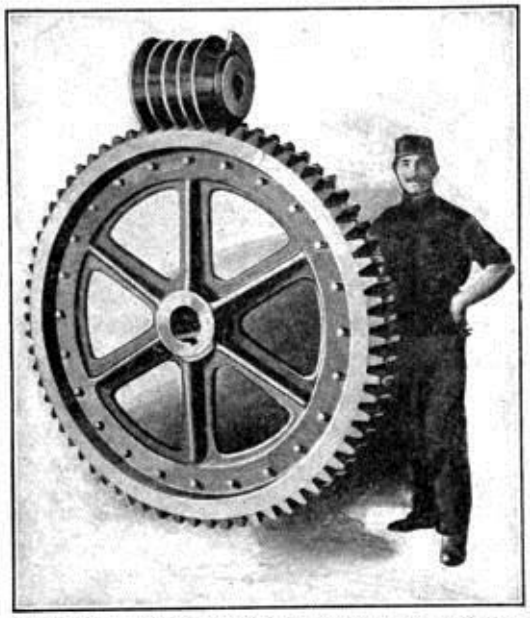


FIG. 108.—This large worm-wheel is a part of the hoisting mechanism employed for the lock gates of the Sault Ste. Marie Canal.

Рис. 105.—Тиски.
Рис. 106.—Винт домкрата.
Рис. 107.— Микрометрический винт.
Рис. 108.—Это большое червячное колесо является частью подъемного механизма, используемого для ворот шлюза Sault Ste. Канал Мари.

Важные темы

1. Эффективность машин.
2. Наклонная плоскость, клин и винт. Применение.

Упражнения

1. Доска длиной 12 футов используется для закатывания бочки весом 200 фунтов. в тележку высотой 3 фута. Найдите требуемую силу параллельно наклону.

2. Какой длины потребуется доска, чтобы вкатить железный сейф весом 1-1 / 2 тонны в тележку высотой 3 фута и грузоподъемностью 600 фунтов. параллельно склону.

3. Усилие в 50 фунтов, действующее параллельно плоскости, предотвращает скатывание 200-фунтовой бочки по наклонной плоскости. Каково отношение длины к высоте самолета?

4. Мужчина может толкать с силой 150 фунтов. и желает поднять коробку весом 1200 фунтов. в тележку высотой 3 фута. Какой длины доску он должен использовать?

5. Радиус колеса печатного станка составляет 6 дюймов, шаг винта - 1/4 дюйма. Какое давление создается силой в 40 фунтов?

6. Шаг винта тисков составляет 1/4 дюйма, длина рукоятки - 1 фут. какого давления можно ожидать, если применяемое усилие составляет 100 фунтов?

7. Винтовой домкрат используется для подъема груза весом в 2 тонны. Стержень винтового домкрата выступает на 2 фута от центра винта. На дюйм приходится две нити. Найдите требуемое усилие.

(6) Трение, его применение и законы

130. Трение.—Несмотря на то, что трение часто бывает неудобным и дорогостоящим, требующим постоянных и изощренных усилий для сведения его к минимуму, оно имеет свои применения и преимущества. Если бы не трение наших ботинок о пол или тротуар, мы не смогли бы удержаться на ногах. *Трение - это сопротивление, которое необходимо преодолеть, когда одно тело движется по другому.* Он бывает двух видов, *скользящий* и *катящийся*. Если провести по доске блок, а затем тележку одинакового веса, причем усилие, прикладываемое в каждом случае, измеряется пружинными весами, то будет заметна большая разница в требуемом усилии, показывающая, насколько меньше трение качения, чем трение скольжения.

131. Способы уменьшения трения.—(a) Трение часто вызывается тем, что мельчайшие выступы одной поверхности погружаются во впадины другой поверхности при движении по другой. Отсюда следует, что если бы эти выступы можно было сделать как можно меньшими, то трение было бы уменьшено. Следовательно, *полировка* является одним из лучших средств уменьшения трения. В машинах все движущиеся поверхности делаются как можно более гладкими. В разных видах материалов эти маленькие выступы и впадины расположены по-разному. (b) На рис. 109 трение между *R* и *S* было бы больше, чем между *R* и *T*. В *R* и *S* поверхности будут прилегать ближе друг к другу, чем в *R* и *T*. *Использование различных материалов снижает трение*. Железные оси автомобильных колес вращаются в подшипниках из латуни. Драгоценные камни используются в часах по той же причине. (c) Другим очень распространенным методом уменьшения трения является использование *смазочных материалов*. Используемое масло или консистентная смазка заполняет неровности опорных поверхностей и разделяет их. *Трение качения* часто заменяется трением скольжения с использованием шариковых и роликовых подшипников. Они используются во многих машинах, таких как велосипеды, автомобили, швейные машины и т.д. (См. рис. 110.)

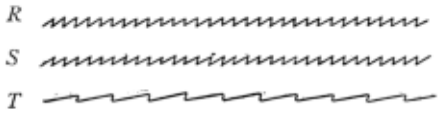


FIG. 109.—The friction between *R* and *S* is greater than beween *R* and *T*.

Рис. 109.—Трение между *R* и *S* больше, чем между *R* и *T*.

132. Величина трения.—*Трение всегда препятствует движению* и всякий раз, когда одно тело перемещается поверх другого или через него, энергия, используемая для преодоления трения, преобразуется в тепло, которое поглощается окружающими телами и обычно теряется. Таким образом, трение является серьезным препятствием на пути к идеальной эффективности машин. Однако трение, как и большинство несчастий, *имеет свои преимущества*. Нам было бы трудно обойтись без него. Без трения мы не могли бы ни ходить, ни бегать; никакие машины не могли бы приводиться в движение ремнями; железнодорожные поезда, трамваи, фактически все обычные средства передвижения были бы невозможны, поскольку они зависят от трения между движущей силой и дорогой для приведения в движение.

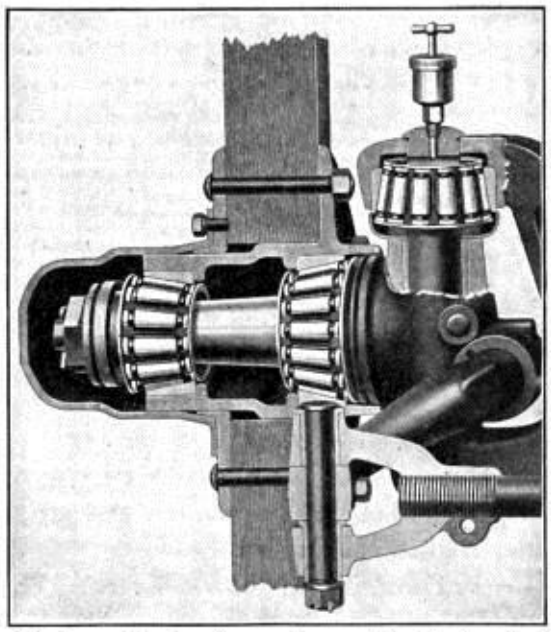


FIG. 110.—Timken roller bearings. As used in the front wheel of an automobile.

Рис. 110.—Роликовые подшипники Timken. Используются в переднем колесе автомобиля.

133. Коэффициент трения.Соотношение между трением, когда движение только начинается, и силой, сталкивающей поверхности друг с другом, называется *коэффициентом трения*.

Если блок на рис. 111 перемещается по доске равномерным движением, показания пружинных балансиров указывают на величину трения. Предположим, что сила трения равна 500 г, а вес блока равен 2000 г. Тогда коэффициент трения для этих двух веществ будет равен {500/2000} = {1/4}, или 25%.

134. Законы трения, Закон I.—*Трение при движении между двумя поверхностями пропорционально силе, удерживающей их вместе.* Таким образом, если измерить трение, когда кирпич тянут по доске, он обнаружит, что оно увеличивается вдвое, если положить

второй кирпич на первый. На тормозах большее давление вызывает большее трение. Если веревку протягивают через руки, большее давление приводит к большему трению.

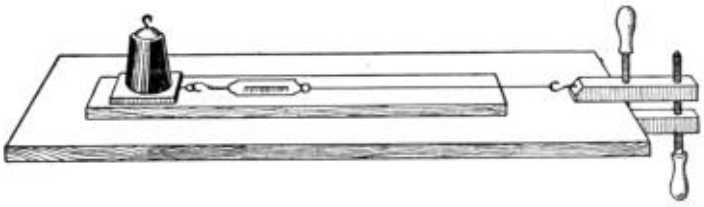


Fig. 111.—A method for testing the friction between surfaces

Рис. 111.—Способ испытания на трение между поверхностями.

Закон II.—*Трение не зависит от площади соприкасающейся поверхности.* Таким образом, кирпич имеет такое же трение на своей стороне, как и на своем ребре, поскольку, хотя поверхность увеличена, вес остается неизменным.

Закон III.—Трение наибольшее при запуске, но после запуска практически одинаково для всех скоростей.

135. Трение жидкости.— Когда твердое тело движется через жидкость, например, когда корабль движется по воде или железнодорожные составы по воздуху, встречаемое сопротивление не такое, как при движении твердых тел, но увеличивается пропорционально квадрату скорости для малых скоростей и для высоких скоростей с более высокой скоростью. Именно по этой причине увеличение скорости скоростного поезда обходится так дорого, поскольку сопротивление воздуха становится важным фактором на высоких скоростях. Обычно считается, что сопротивление движению судна на высокой скорости увеличивается в кубе скорости, так что для удвоения скорости судна его движущая сила должна быть в восемь раз больше.

Важные темы

1. Трение: двух видов; скольжение и качение.

2. Четыре способа уменьшения трения.

3. Применение трения.

4. Коэффициент трения. Три закона трения.

5. Трение жидкости.

Упражнения

1. Какой длины должна быть наклонная плоскость высотой 10 метров, чтобы автомобиль весом 2000 кг. мог подниматься по своей длине с усилием 100 кг. параллельно склону?

2. Укажите, как и где трение используется при работе наклонной плоскости, клина, винта, колеса и оси.

3. Тачка имеет ручки длиной 6 футов. При нагрузке 300 кг. находится на расстоянии 18 дюймов от оси колеса, какое усилие, приложенное к концам ручек, потребуется для его подъема?

4. Винт домкрата имеет 3 резьбы на дюйм, а рычаг, используемый для его поворота, имеет длину 4 фута. Если КПД винта составляет 60%, какое усилие необходимо приложить, чтобы поднять груз в 5 тонн?

5. В задаче 4 на какое расстояние должна переместиться сила, поднимающая груз на 3 дюйма. Рассчитайте работу, выполняемую с учетом веса, мощности и эффективности машины, исходя из этих двух объемов работы.

6. Какие простые механизмы представлены в виде складного ножа, швейной машинки, отвертки, рубанка, пилы, столовых вилок?

7. Рабочий переносит 1500 фунтов кирпича на платформу высотой 40 футов . Сколько полезной работы он выполняет?

8. Если он весит 150 фунтов. а его ходунки весят 10 фунтов., сколько бесполезной работы он выполняет, совершая 30 ходоков, чтобы поднять кирпичи задачи 7? Какова его эффективность?

9. Если рабочий поднимает кирпич из задачи 7 в ведре весом 50 фунтов, используя фиксированный шкив и веревку, какая бесполезная работа выполняется, если для подъема кирпича требуется 12 ходок? Какова эффективность устройства?

10. Эффективность набора шкивов составляет 70%. Какое усилие следует приложить, если действовать на расстоянии 100 футов. оно должно поднять груз в 400 фунтов. 20 футов?

11. Спицы рулевого колеса моторной лодки имеют длину 1 фут, ось, вокруг которой намотаны тросы руля, имеет диаметр 3 дюйма. Какое усилие необходимо приложить, если натяжение канатов составляет 50 фунтов?

12. Почему надземные железнодорожные станции часто располагаются на вершине склона, при этом рельсы плавно отходят в обоих направлениях?

13. Винт пресса имеет 4 дюймовые резьбы и приводится в действие рычагом такой длины, что усилие в 25 фунтов. создает усилие в 2 тонны. Какова длина рычага?

14. Он принимает горизонтальное усилие в 10 кг. чтобы нарисовать сани массой 50 кг. вдоль горизонтальной поверхности. Каков коэффициент трения?

15. Коэффициент трения качения железнодорожного состава на рельсах равен 0,009. Какое усилие должен был бы приложить локомотив, чтобы протащить поезд весом 1000 тонн по ровному пути?

16. Насколько тяжелый кусок льда можно протащить по полу с помощью горизонтальной силы в 20 фунтов, если коэффициент трения равен 0,06?

17. Коэффициент трения железа о железо равен 0,2. Какое усилие может приложить переключающий двигатель весом 20 тонн перед пробуксовкой?

18. Используя систему шкивов с двойным подвижным блоком, человек весом 200 фунтов. способен поднять всего 600 фунтов. Какова эффективность системы?

19. Какова мощность насоса, который может за 30 минут откачать воду из погреба глубиной 40 × 20 на 10 футов?

20. Сколько тонн угля подъемный двигатель мощностью 5 лошадиных сил может поднять за 30 минут с баржи на угольные склады высотой 50 футов?

(7) Энергия воды

136. Энергия падающей воды.—Энергия падающей и текущей воды использовалась с древнейших времен для выработки электроэнергии и запуска механизмов. Энергия получается за счет действия движущейся воды при ударе и вращении некоторой формы *водяного колеса*, несколько разновидностей которого описаны ниже.

Перекидное колесо.—Перекидное колесо (рис. 112) вращается под действием веса воды в ведрах. Раньше он широко использовался в холмистых и гористых районах этой страны для работы лесопилок и мукомольных заводов, поскольку его очень легко приготовить и требуется лишь небольшое количество воды. Его эффективность высока и составляет от 80 до 90%, причем потери происходят из-за трения и проливания воды из ведер. Для обеспечения такой высокой эффективности колесо overshot должно иметь диаметр, равный высоте падения, которая может достигать 80 или 90 футов.

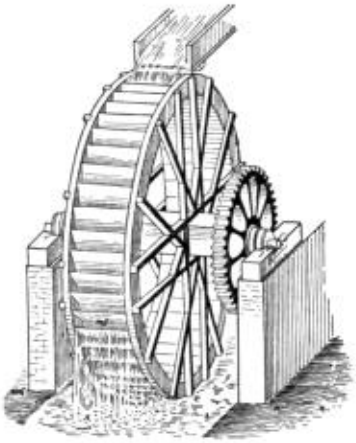


FIG. 112.—Overshot water wheel.

Рис. 112.— перевернутое водяное колесо.

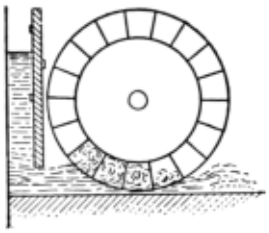


FIG. 113.—Undershot water wheel.

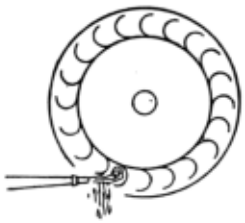


FIG. 114.—Diagram illustrating the principle of the Pelton wheel.

Рис. 113.—Водяное колесо с неполным ходом.
Рис. 114.—Схема, иллюстрирующая принцип работы колеса Пелтона.

Колесо с промахом.— Грунтозацеп старого образца (рис. 113) используется в равнинных странах с небольшим перепадом температур, часто для подъема воды для орошения. Его эффективность очень низкая, редко превышающая 25%. Однако принцип подводящего колеса широко используется в водяном двигателе и колесе Пелтона (рис. 114). В них вода подается из форсунки струей в нижние ковши колеса. Их эффективность составляет около 80%. и широко используются в городах для запуска небольших машин, стиральных машин, трубных воздуходувок и т.д., А также в горных районах, где голова отличная.

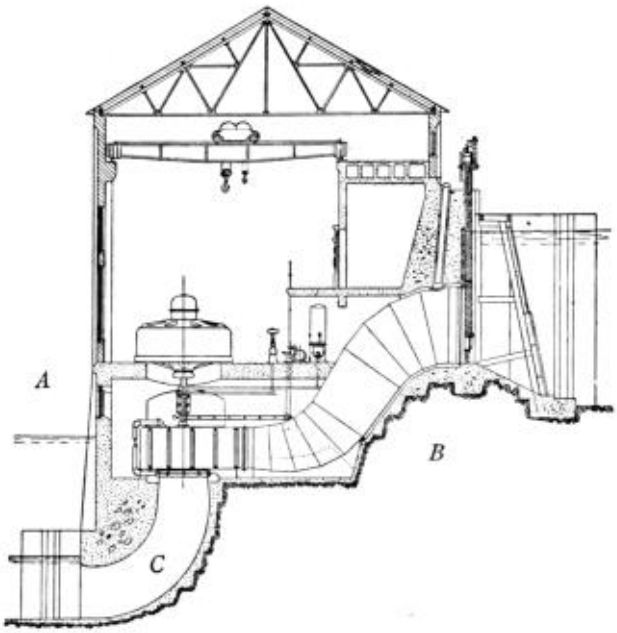


FIG. 115.—Diagram of a hydro-electric power house showing a vertical turbine *A* with penstock *B* and tail race *C*.

Рис. 115 —Схема гидроэлектростанции, показывающая вертикальную турбину *A* с штоком *B* и хвостовым кольцом *C*.

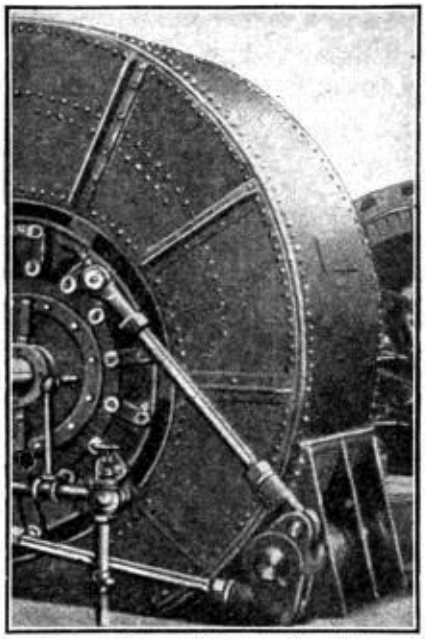


FIG. 116.—The outer case of a turbine showing the mechanism for controlling the gates.

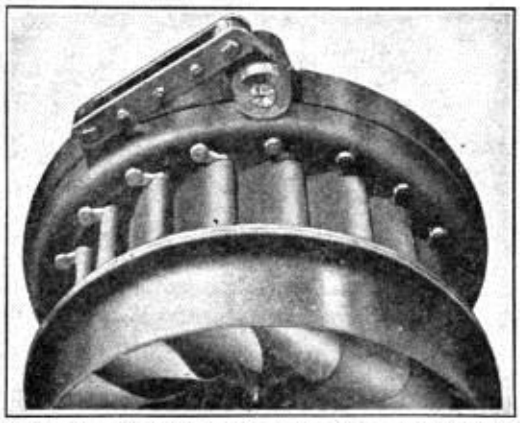


FIG. 117.—Inner case of a turbine showing the gates and the lower end of the runner within.

Рис. 116.— Внешний корпус турбины, показывающий механизм управления заслонками.

Рис. 117. Внутренний корпус турбины, показывающий заслонки и нижний конец рабочего колеса внутри.

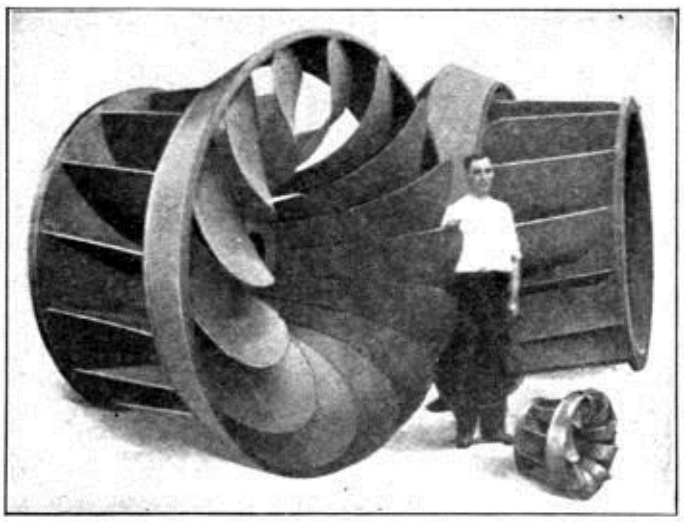


FIG. 118.—The runner of a turbine.

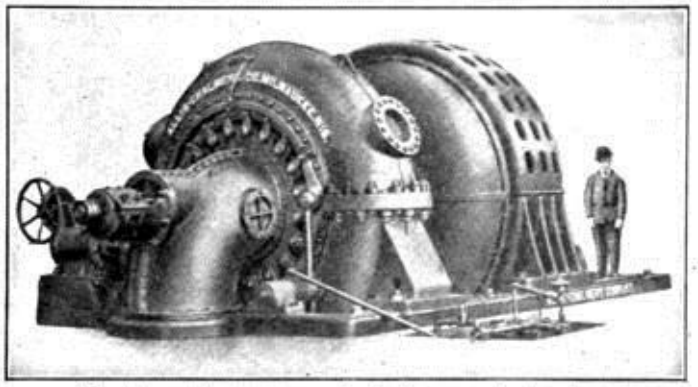


FIG. 119.—Turbine and generator of the Tacoma hydro-electric power plant.

Рис. 118—Рабочее колесо турбины.
Рис. 119.— Турбина и генератор гидроэлектростанции Такома.

137. Турбина.—Турбина в настоящее время используется чаще, чем любая другая форма водяного колеса. Он был изобретен в 1827 году Де Фурнейроном во Франции. Его можно использовать с небольшим или большим количеством воды, мощность зависит от напора (высоты воды в резервуаре над колесом). Это наиболее эффективный тип водяного колеса с КПД 90%. часто его добиваются. Колесо полностью находится под водой (рис. 115). Он заключен во внешний корпус (рис. 116), который соединен с резервуаром с помощью ручки или трубы и всегда наполнен водой. Само колесо состоит из двух частей: вращающейся части, называемой бегуном (см. рис. 118), и внутреннего корпуса (рис. 117) с заслонками, которые регулируют количество воды, поступающей в колесо. Этот корпус имеет лопасти, изогнутые таким образом, что вода может ударяться о изогнутые лопасти вращающейся части (рис. 118) под углом, который наилучшим образом приспособлен для использования энергии воды. Затем вода попадает через центральное отверстие в расположенный ниже хвостовик (см. рис. 115). Доступная энергия равна произведению веса воды и напора. Турбина широко используется для выработки электроэнергии в местах с достаточным количеством воды. Вырабатываемая таким образом электрическая энергия передается на расстояние от 50 до 200 миль в города, где она используется для движения уличных автомобилей, электрического освещения и т.д. Турбины могут вращаться как вокруг вертикальной, так и горизонтальной осей. На рис. 119 изображена *горизонтальная* водяная турбина, соединенная с динамо-машиной. Сравните это с *вертикальной* турбиной на рис. 115.

Упражнения

1. Выполняет ли человек больше работы, когда поднимается по лестнице за 5 секунд, чем когда поднимается за 15 секунд? Объясните.

2. Мотоцикл оснащен мотором мощностью 4 лошадиные силы и может развивать скорость 50 миль в час. Почему 4 лошади не могут тянуть его так же быстро?

3. Какова эффективность двигателя, который работает быстро, но не выполняет никакой полезной работы?

4. Какую лошадиную силу можно получить от водопада высотой 12 футов, если каждую секунду над ним проносится 20 кубических футов воды?

5. Какова мощность пожарной машины, если она может выбрасывать 600 галлонов воды в минуту на высоту 100 футов?

6. Почему нижние колеса менее эффективны, чем передние колеса или турбина?

7. Вращающийся электрический вентилятор установлен на корме лодки. Движется ли лодка? Почему? Поместите вентилятор под воду. Движется ли лодка сейчас? Почему?

8. Почему электрический вентилятор создает легкий ветерок?

9. Объясните действие мехов в органе.

10. На Ниагарском водопаде турбины находятся на глубине 136 футов под поверхностью реки. Их средняя мощность составляет 5000 лошадиных сил каждая. каждую секунду через каждую турбину проходит 430 кубических футов воды. Найдите коэффициент полезного действия.

11. В Лакси на острове Мэн находится самое большое колесо overshot, которое сейчас используется. Его мощность составляет 150 лошадиных сил, диаметр - 72,5 фута, ширина - 10 футов, а КПД - 85 процентов. Сколько кубических футов воды проходит через него каждую секунду?

12. На электростанции компании Pikes Peak Hydro-electric Company используется напор в 2150 футов, что равно давлению в 935 фунтов. на квадратный дюйм, чтобы запустить колесо Пелтона. Если площадь сопла составляет 1 кв. дюйм, а скорость струи составляет 22 300 футов в минуту, какова развиваемая мощность в лошадиных силах при КПД 80%?

13. Проведенные в 1909 году испытания турбин на электростанции в Сентервилле Калифорнийской газовой и электрической корпорации показали максимальную мощность 9700 лошадиных сил, скорость 400 об/ мин при напоре 550 футов. КПД составлял 86,25%. Сколько кубических футов воды проходило через турбины каждую секунду?

14. Турбина электростанции в городе Такома (см. рис. 120) использует напор 415 футов 145 кубических футов при втором прохождении через турбину. Рассчитайте лошадиную силу.

15. В задаче 14, каково давление воды на квадратный дюйм в турбине?

16. Электростанция, упомянутая в задаче 13, развивает 6000 кВт. Какова ее эффективность?

План обзора: Работа и энергия

Работа; способ измерения, единицы измерения, фут-фунт, килограмм-метр, эрг.

Энергия; как измеряется, единицы измерения, потенциал, *физическая энергия* = *вт* × *ч* или $f \times s$. Кинетическая = $(wv^2) / (2g)$.

Мощность; способ измерения, единицы, лошадиная сила, ватт, 5 видов энергии, экономия. Л.с. = (фунт × фут)/(550 × сек.).

Машины; 6 простых форм, 2 группы, преимущества, применение, закономерности: $Ш \times Г_w = F \times D_f$.

Рычаг; моменты, механические преимущества, применение.

Колесо, ось и шкив; распространенное применение, механические преимущества.

Наклонная плоскость, клин и винт; механические преимущества и эффективность.

Трение; использует, насколько уменьшен коэффициент, законы (3).

Водяные колеса; типы, эффективность, применение.

ГЛАВА VII

ТЕПЛОТА, ЕЕ ПРОИЗВОДСТВО И ПЕРЕДАЧА

(1) Источники и воздействие тепла

138. Важность изучения тепла.—Тепло привлекается к нашему вниманию через ощущения тепла и холода. Зимой мы утепляем наши дома и, насколько это возможно, предотвращаем утечку тепла из них. Летом мы стараемся поддерживать прохладу в наших жилых комнатах и предохраняем наши тела от перегрева.

Четкое понимание нескольких *источников*, *эффектов* и *способов передачи* тепла важно для каждого, кто живет в нашей сложной цивилизации, особенно когда мы рассматриваем множество объектов, основным назначением которых является *производство, передача или утилизация* тепла.

139. Основные источники тепла.—*Первое* и самое важное - это *Солнце*, которое постоянно посылает нам *лучистую энергию* в виде волн света и тепла. Они согревают землю, стимулируют рост растений, испаряют воду, а также производят множество других важных эффектов.

Во-, *химическая энергия* часто преобразуется в тепло. Достаточно подумать о тепле, вырабатываемом при сжигании угля, древесины, нефти и газа, чтобы осознать важность этого источника. Химическая энергия также является источником тепла, вырабатываемого в наших телах. При взаимодействии негашеной извести и воды друг с другом выделяется много тепла. Это действие иногда используется во время полетов на воздушном шаре как средство согревания вещей.

Третье, *Электрическая энергия*.—Во многих городах электромобили обогреваются электрическим током. Все мы слышали об электрических тостерах и других устройствах для обогрева электричеством. *Электрический* свет возникает при нагревании некоторого материала до накала электрическим током. *Электрическая печь* имеет широкое применение при получении и рафинировании металлов.

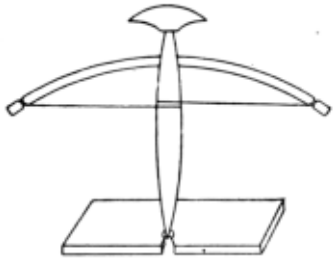


FIG. 120.—Boy-scout method of making fire by friction.

Рис. 120 —бойскаутский способ добывания огня трением.

В-, тепло также выделяется всякий раз, когда преодолевается *механическая энергия* движения, будь то за счет *трения*, *сотрясения* или *сжатия*. Трение *всегда* приводит к выделению тепла, например, когда мы согреваем руки, потирая их друг о друга. При чрезмерном трении, например, в случае с тяжелым подшипником, который не смазан должным образом, подшипник может сильно нагреться. Это является причиной "горячей коробки" в железнодорожном вагоне. Трение может выделять тепло, достаточное для воспламенения древесины. Считается, что некоторые пожары на мельницах происходят по этой причине. Каждый *бойскаут* должен научиться добывать огонь трением. (См. рис. 120.) *Сотрясение* можно проиллюстрировать нагреванием куска металла при ударе по нему молотком, в то время как сжатие газа всегда делает его теплее, как заметили те, кто пользовался велосипедным насосом. Выделение тепла путем сжатия газа иллюстрируется "огненным шприцем" (рис. 121). Он состоит из стеклянной трубки с плотно установленным поршнем. Внезапное сжатие содержащегося воздуха может привести к возгоранию следов паров сероуглерода.

FIG. 121.—A fire syringe.

Рис. 121.—Огненный шприц.

В *недрах земли* жарко, но ее тепло редко достигает поверхности, за исключением *горячих источников* и *вулканов*.

140. Воздействие тепла.—Существует пять важных изменений, вызываемых нагреванием: (a) изменение *размера*, (b) изменение *температуры*, (c) изменение *состояния*, например, таяние льда или испарение воды, (d) *химические* изменения, например, обугливание сахара при его перегреве, и (e) *электрические* изменения. Это проиллюстрировано возникновением электрического тока при нагревании места соединения двух разных металлов. Термоэлектрический генератор (см. рис. 122) был сконструирован по этому принципу и успешно работает.

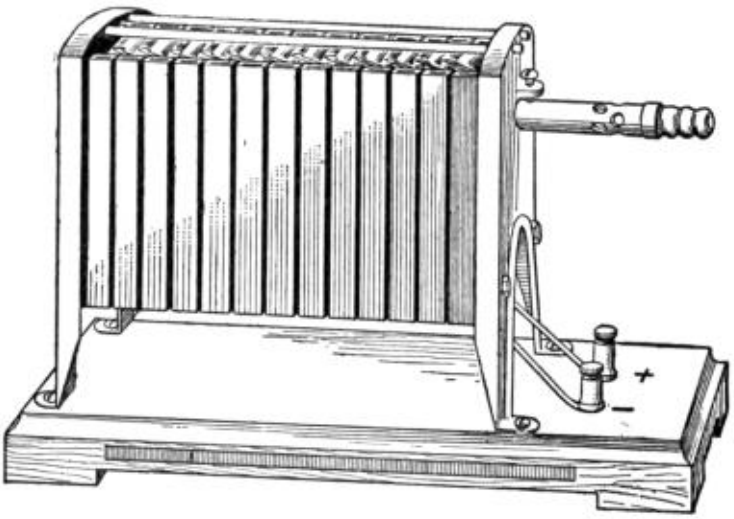


FIG. 122.—A thermo-electric generator.

Рис. 122.—Термоэлектрический генератор.

Важные темы

1. Важность изучения теплоты.

2. Четыре источника тепла.

3. Пять эффектов тепла.

4. Примеры каждого из них.

5. Иллюстрации преобразования энергии с участием тепла.

Упражнения

1. Напишите список *источников* тепла в порядке их важности для вас. Укажите, почему каждый из них важен для вас.

2. Какие *три* из *эффектов* тепла *вы* используете в наибольшей степени? Объясните, как вы используете каждый из этих эффектов.

3. Какая из форм энергии может быть преобразована в тепло? Как в каждом конкретном случае?

4. В какие другие формы энергии может быть преобразовано тепло? Назовите устройство или процесс, используемые в каждом конкретном случае.

5. Какие пять различных товаров покупают жители вашего района для производства тепла? Какой из них стоит меньше всего с учетом количества потребляемого тепла? Какой самый дорогой? Как вы определяете эти ответы?

6. Почему многие люди покупают тепло в дорогой форме, например, используя электрический тостер, когда они могут получить его в более дешевой форме, сжигая газ или уголь?

7. Сколько из пяти эффектов высокой температуры вы наблюдали вне школы?

(2) Температура и расширение

141. Тепло и температура.— Теперь мы должны четко различать термины "*тепло*" и "*температура*". Тепло - это *форма энергии, состоящая из движения молекул*. Температура тела - это его *степень нагретости*. *Количество тепла*, присутствующего в теле, и его *температура* - это очень разные вещи. Температура относится к интенсивности тепла в теле. Литр воды и раскаленный докрасна железный шар могут содержать *равное количество* тепла, хотя шар имеет *гораздо более высокую температуру*, чем вода. Чашка кипящей воды будет иметь ту же температуру, что и емкость, наполненная кипятком, но в емкости будет больше тепла. Всем известно, что на вскипание чайника с водой уйдет больше времени, чем на приготовление чашки. Пакет с горячей водой, вмещающий 2 литра воды, будет отдавать тепло дольше, чем пакет объемом в 1 литр, поскольку оба наполнены водой одинаковой температуры. Другими словами, при нагревании большого количества воды затрачивается больше усилий, чем при нагревании небольшого количества при том же изменении температуры.

142. Единицы измерения теплоты и температуры.—Существуют две общепринятые единицы измерения тепла: *калория* и *британская тепловая единица*. *Калория - это количество тепла, необходимое для повышения температуры грамма воды на один градус цельсия*. Британская тепловая единица - это *количество тепла, необходимое для повышения температуры одного фунта воды на один градус Фаренгейта*. Одна из единиц измерения явно относится к метрической системе, другая - к английской.

Прибор для измерения температуры называется *термометром*. На термометры нанесены различные шкалы. Две шкалы термометра, наиболее часто используемые в этой стране, - это *по Цельсию* и *по Фаренгейту*. На *шкале термометра по Фаренгейту* температура тающего льда отмечена на отметке 32°. Точка кипения или температура пара чистой воды при стандартных условиях атмосферного давления обозначается как 212°, а пространство между этими двумя фиксированными точками разделено на 180 частей.

Шкала стоградусного термометра имеет одинаковые фиксированные точки, отмеченные 0 и 100, а расстояние между ними разделено на 100 частей. (См. рис. 123.) Стоградусная шкала используется учеными во всем мире.

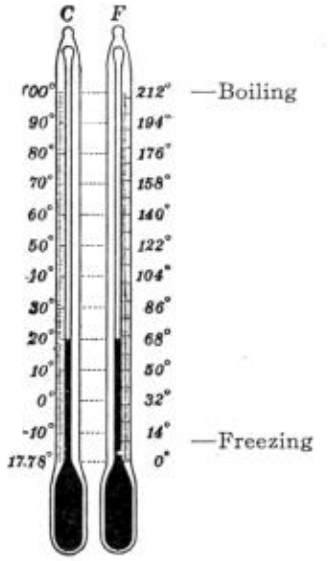


FIG. 123.—Comparison of centigrade and Fahrenheit scales.

Рис. 123.—Сравнение шкал по Цельсию и Фаренгейту.

143. Сравнение шкал термометров.—Часто бывает необходимо выразить в градусах Цельсия температуру, для которой даны показания по Фаренгейту, или *наоборот*. Поскольку между "фиксированными точками" и 100 градусами по Цельсию 180 градусов по Фаренгейту, градусы по Фаренгейту меньше, чем по Цельсию, или 1 ° F. = 5/9 ° C. и 1 ° C. = 9/5 ° F. Необходимо также учитывать тот факт, что температура таяния льда по шкале Фаренгейта отмечена 32°. Отсюда вытекает следующее правило: чтобы изменить значение по Фаренгейту на стоградусное, вычтите 32 и отнимите 5/9 от остатка, а чтобы изменить значение по Цельсию на Фаренгейт, умножьте значение по Цельсию на 9/5 и прибавьте 32 к произведению. Эти два правила выражаются следующими формулами.

(F.° - 32) 5/9 = C.°, 9C.°/5 + 32° = F.°

Другой метод перехода с одной термометрической шкалы на другую заключается в следующем:

Температура -40°F. также *представлен* значением -40 ° C. Поэтому, чтобы изменить значение по Фаренгейту на значение по Цельсию, мы прибавляем 40 к данному показанию, затем делим на 1,8, после чего вычитаем 40. Чтобы перейти от показаний по Цельсию к показаниям по Фаренгейту, единственное отличие в этом методе - умножить на 1,8 или

C. = (F. + 40)/1,8 - 40 и F. = 1,8(C. + 40) - 40.

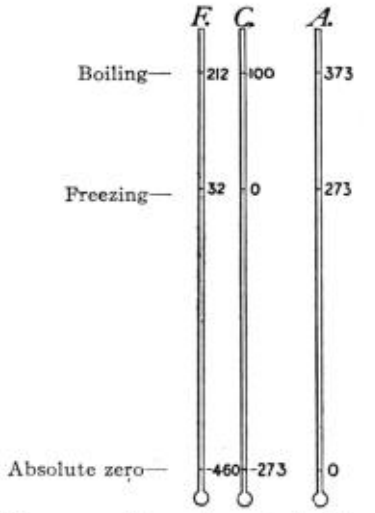


FIG. 124.—Comparison of absolute, centigrade and Fahrenheit scales.

Рис. 124 —Сравнение абсолютной шкалы, шкалы Цельсия и шкалы Фаренгейта.

144. Абсолютная шкала температуры.—Часто можно услышать утверждение "холоден, как лед". Это выражает неверную идею о том, что лед не может стать холоднее температуры его замерзания. Дело в том, что лед *может быть охлажден* ниже точки замерзания до температуры окружающей среды. Если кусок льда поместить туда, где температура ниже точки плавления, лед, как и любое другое твердое вещество, остывает до температуры окружающего пространства. Например, кусочек льда на улице находится при температуре 10°F. при такой температуре воздуха. Из этого следует, что когда лед охлажден ниже температуры замерзания, требуется тепло, чтобы разогреть лед до его точки плавления; или, другими словами, лед при его температуре плавления обладает некоторым количеством тепла. Температура, при которой не существует абсолютно никакого тепла, называется *абсолютным нулем*. Была разработана *абсолютная шкала* температуры. Эта шкала основана на шкале Цельсия, *т.е.* с расстоянием между двумя фиксированными точками 100°; однако шкала опускается ниже нуля по Цельсию, 273 °, до так называемого *абсолютного нуля*. Отсюда следует, что по абсолютной шкале температура таяния льда и температура кипения воды равны 273 ° и 373° соответственно. (См. рис. 124.)

Большой интерес представляют средства, используемые для определения местоположения абсолютного нуля. Было замечено, что при нагревании газ имеет тенденцию расширяться. Если измеренный объем воздуха при температуре 0 ° C охлаждается или нагревается на 1 ° C, то его объем изменяется на 1/273, при этом давление остается прежним. Если его охладить на 10 °, он теряет 10/273, если охладить на 100 °, он теряет 100/273 и так далее. Независимо от того, насколько сильно он охлажден, одна и та же скорость восстановления продолжается до тех пор, пока он остается в газообразном состоянии. Из этих фактов делается вывод, что если бы охлаждение можно было осуществить на 273 ° ниже, то объем был бы уменьшен на 273/273 или что объем газа был бы сведен к нулю. Считается, что это означает, что молекулярное движение, составляющее тепло, скорее прекратится, чем исчезнет вещество, составляющее газ. Ученые смогли получить значения экстремально низких температур, значительно меньшие по абсолютной шкале. Температура жидкого воздуха составляет -292°F., или -180°C., или 93°A. Самая низкая из зарегистрированных на сегодняшний день температур составляет 1,7 ° A. или -271,3 ° C. Получена в 1911 году путем испарения жидкого гелия.

145. Закон Карла.—Факты, приведенные в последнем абзаце, означают, что если 273 куб. см газа при 0 ° C или 273 ° A. охладить на 100 °, или до -100 ° C, или 173 ° A., то он потеряет

100/273 своего объема или будет иметь объем 173 куб. см. Если его нагреть на 100 °, или до 100 ° С, или до 373 ° А., его объем составит 373 куб. см. Отсюда следует, что в каждом случае объем будет соответствовать его абсолютной температуре при условии, что давление остается неизменным. Выражение этого факта на научном языке называется законом *Чарльза*. *При постоянном давлении объем данной массы газа пропорционален его абсолютной температуре.*

Выражаясь математически, мы имеем $V_1/V_2 = T_1/T_2$. Сравните формулировку и математическое выражение законов Чарльза и Бойля.

Формулы для законов Бойля и Чарльза иногда объединяются в одно выражение следующим образом:

$PV/T = PV/T$

или произведение объема и давления постоянной массы газа пропорционально его абсолютной температуре.

Важные темы

1. Тепловые единицы; калория, британская тепловая единица.

2. Три шкалы термометра с фиксированными точками на каждой.

3. Абсолютный ноль, как определяется. Его значение на каждой шкале.

4. Закон Чарльза, его значение. Сочетание законов Бойля и Чарльза.

Упражнения

1. Тает ли лед при той же температуре, при которой замерзает вода? Выразите температуру замерзания воды на трех шкалах термометра.

2. Комфортная температура в помещении составляет 68 ° F. Какова эта температура в стоградусном и абсолютном измерениях?

3. Измените температуру с 15°C на F.; с 15°F. на C.; с -4°C. на F.; с -20°F. на C.

4. Температура человеческого тела составляет 98,6 ° F. Какова эта температура в абсолютном выражении и по Цельсию?

5. Температура жидкого воздуха составляет -180 ° С. Сколько это по шкале Фаренгейта?

6. Ртуть является твердым веществом при температуре -40 ° F. Сколько это по шкале Цельсия?

7. Сколько тепла потребуется, чтобы повысить температуру 8 фунтов воды на 32 ° F.; 5 фунтов на 10 °F.?

Fig. 125.—A clinical thermometer used to take the temperature of the body.

Рис. 125. — Клинический термометр, используемый для измерения температуры тела.

8. Сколько тепла потребуется, чтобы повысить температуру 30 г воды на 43°C; 20 г, 50°C?

9. Вычислите температуру, равную абсолютному нулю по шкале Фаренгейта.

10. Возьмите три таза с водой: один горячий, один холодный и один чуть теплый. Если опустить одну руку в горячую воду, а другую - в холодную, а через несколько минут обе опустить в чуть теплую воду, то эта вода будет казаться прохладной для одной руки и теплой для другой. Объясни.

11. Если 200 куб. см воздуха при абсолютной температуре 200 ° С нагреть до 300 ° А. при постоянном давлении, какой объем будет занимать воздух при последней температуре?

12. Как изменить значение по шкале Цельсия на соответствующее значение по абсолютной шкале?

(3) Расширение жидкостей и твердых тел

146. Расширение газов.—Установлено, что закон Шарля применим ко всем газам. То есть все газы изменяются в объеме пропорционально изменению температуры при условии, что давление остается постоянным. Именно по этой причине у нас есть *газовый термометр* (см. рис. 126), который в умелых руках дает более точные показания температуры, чем самый лучший ртутный термометр. Галилей изобрел и использовал первый *воздушный термометр*, который состоял из полой колбы, надутой на стеклянную трубку и перевернутой в чашке с водой. (См. рис. 1.) *Водяной термометр* состоит из стеклянной колбы, наполненной водой, которая поднимается в трубку, прикрепленную к колбе. Одним из недостатков водяного термометра является его ограниченный диапазон, поскольку его нельзя использовать при температуре ниже 0 ° или выше 100 °. Почему?

147. Расширение жидкостей.Расширение жидкостей отличается от расширения газов в нескольких важных отношениях:

(a) Жидкости имеют меньшую скорость расширения, чем газы. *Скорость* расширения на градус называется *коэффициентом расширения*. Например, коэффициент расширения газа при постоянном давлении при 0 °С составляет {1/273} от его объема на градус Цельсия.

(b) разные жидкости расширяются с совершенно разной скоростью, то есть их коэффициенты расширения сильно различаются. Например, коэффициент расширения ртути составляет 0,00018 на градус Цельсия, глицерина - 0,0005 на градус Цельсия, нефти - 0,0009 на градус Цельсия.

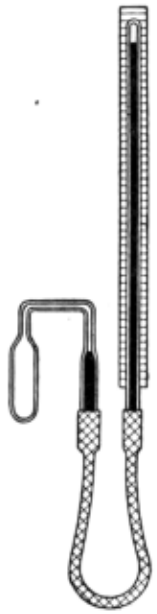


FIG. 126. — Gas thermometer.

Рис. 126.—Газовый термометр.

(c) Одна и та же жидкость часто имеет разные коэффициенты расширения при разных температурах. Вода от 5 ° C до 6°C. имеет коэффициент расширения 0,00002 на градус Цельсия, от 8° до 50° равный 0,0006, от 99° до 100° равный 0,00076. Однако коэффициент расширения ртути постоянен в широком диапазоне температур и, следовательно, он хорошо приспособлен для использования в термометрах.

148. Особенность расширения воды.—Вода имеет особую скорость расширения. Это иллюстрируется следующим экспериментом:

Пробирка, наполненная холодной водой, закрывается пробкой, содержащей маленькую стеклянную пробирку, из которой вода поступает в маленькую пробирку. (См. рис. 127.) Пробирку помещают в морозильную смесь из соли и льда, находящуюся в стакане. По мере остывания воды уровень воды в маленькой пробирке сначала *опускается*. Но перед тем, как вода замерзнет, она снова *поднимается*, показывая, что после того, как вода остынет до определенной температуры, *происходит расширение воды с дальнейшим охлаждением*.

Тщательные тесты показывают, что вода при охлаждении сжимается до тех пор, пока не достигнет 4 ° C. При охлаждении ниже этой температуры она расширяется. По этой причине, когда вода в озере или реке замерзает, самая холодная вода находится на поверхности. Из-за этого лед образуется наверху, а не на дне. Если бы вода сжималась при охлаждении до температуры замерзания, то самая холодная вода была бы на дне. Замерзание началось бы на дне, а не на поверхности. Озера и реки замерзли бы полностью. Летом только на мелководье растает весь лед. В результате погибнет рыба и другие водные организмы. Климат изменится настолько, что земля может стать непригодной для жизни. Поскольку вода наиболее плотна при температуре 4 °C. температура всей воды в озере или реке, когда она покрыта льдом, составляет 4 ° C. За исключением воды у поверхности.

FIG. 127. — Apparatus used in testing the expansion of water.

Рис. 127.—Устройство, используемое для определения расширения воды.

149. Расширение твердых тел.—Большинство твердых тел при нагревании расширяются меньше, чем жидкости и газы. Тщательные эксперименты показывают, что расширение составляет:

(a) пропорционально изменению температуры.

(b) различаются в разных твердых телах.

Вот несколько коэффициентов линейного расширения (по длине).

Латунь	0,000018 на градус С.
Стекло	0,000009 на градус С.
Лед	0,000052 на градус С.
Железо	0,000012 на градус С.
Платина	0,000009 на градус С.
Цинк	0,000027 на градус С.

Коэффициент линейного расширения - это доля длины тела, которая расширяется при нагревании на один градус.

Коэффициент кубического расширения - это доля объема, которую тело расширяет при нагревании на один градус.

Расширение твердых частиц используется или допускается во многих случаях:

а. Стыки между рельсами на железной дороге позволяют расширять рельсы летом.

б. Один конец стального ферменного моста обычно опирается на ролики, чтобы он мог расширяться и сжиматься при изменении температуры. (См. рис. 128.)

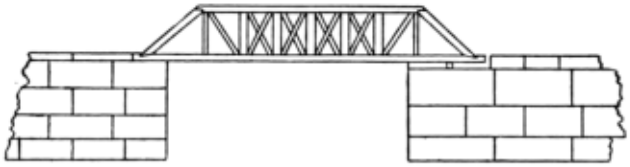


FIG. 128.—Truss bridge showing roller support at one end.

Рис. 128.—Ферменный мост с роликовой опорой на одном конце.

с. Подвесные мосты имеют компенсаторы, в которых концы железных балок могут входить в компенсатор или выходить из него, таким образом делая мост длиннее или короче в зависимости от температуры.

г. Железные шины нагревают, надевают на колеса повозки, а затем охлаждают, при этом сжатие при охлаждении плотно фиксирует их на месте.

е. Движение металлических термометров зависит от расширения свернутой металлической полоски, которая поворачивает указатель на циферблате прибора. (См. рис. 129.)

f. Провода, которые вплавляются в стекло в лампах накаливания, должны иметь тот же коэффициент расширения, что и стекло. Поэтому для этой цели была использована платина. (См. Таблицу выше.)

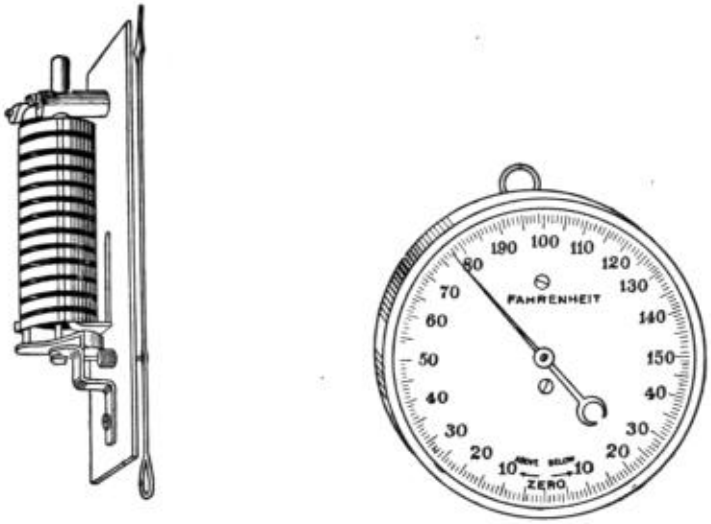


FIG. 129.—Metallic thermometer.

Рис. 129.—Металлический термометр.

Важные темы

1. Расширение жидкостей; особенности. Аномальное расширение воды и его результаты.

2. Расширение твердых частиц; особенности, применение.

3. Коэффициент линейного расширения.

4. Коэффициент кубического расширения.

Упражнения

1. Газ внутри частично надутого воздушного шара имеет объем 1000 кубических футов при давлении 74 см и температуре 15°С. Каким будет объем газа, когда его давление составит 37 см, а температура -17 °С.?

2. Человек, делающий полный вдох на вершине горы высотой четырнадцать тысяч футов, вдыхает 4 литра воздуха при давлении 40 сантиметров. Какой объем имела бы эта же масса воздуха в месте на высоте 600 футов над уровнем моря, когда барометр показывает 75 см, а температура такая же, как на вершине горы?

3. Если коэффициент линейного расширения железа равен 0,000012 на градус Цельсия, на сколько изменится длина железного моста длиной 1000 футов при нагревании с -20 ° С зимой до 30 ° С летом.

4. Каковы некоторые из результатов, которые могли бы возникнуть в морозную погоду, если бы вода постоянно сжималась при охлаждении до нуля вместо того, чтобы начинать расширяться при охлаждении ниже 4 ° С.?

5. Упомяните два замеченных вами случая расширения, возникающего при нагревании тела?

6. Сравните плотность воздуха при температуре 30 ° С с плотностью воздуха при 10 ° С при том же давлении. Если в помещении присутствуют и то, и другое, где каждый из них будет найден? Почему?

7. Сравните плотность воды при 40 ° С с плотностью при 10 ° С. Если в резервуаре находится вода двух температур, где можно найти каждую из них? Почему?

8. Если вода при 0 ° С и при 4 ° С находится в резервуаре, где будет находиться каждая из них? Почему?

9. Сколько тепла потребуется, чтобы повысить температуру кубического фута воды на 10 ° F.?

10. Сколько тепла потребуется, чтобы повысить температуру 4 литров воды на 25°С?

11. Насколько длиннее были бы тросы Бруклинского подвесного моста в летний день при температуре 30 ° С, чем зимой при -20 ° С, при длине троса между опорами около 1600 футов.

12. Если 25 литров воздуха при температуре -23°С нагреть до 77°С. каким будет результирующий объем воздуха при постоянном давлении? Объясни.

13. Белый чугун плавится при температуре около 2000 ° F. Переведите эту температуру в стоградусную и абсолютную шкалы.

14. Если 200 куб. см воздуха при давлении 76 см и температуре 27°С нагреты до 127°С. при давлении 38 см. каким будет полученный объем?

15. Баллон содержит 10 000 кубических футов газа при давлении 75,2 см и температуре 24 ° С. Он поднимается до тех пор, пока давление не достигнет 18 см, а температура -10 ° С. Какой объем газа он тогда содержит.

16. Газгольдер содержит 50 кубических футов газа при давлении в одну атмосферу и температуре 62 °F. Сколько газа он вмещает при температуре 10 атмосфер и 32 °F.

17. Какой объем имеет тысяча "кубических футов" осветительного газа при весе 75 фунтов. давление и температура 10 °C.

18. Определите "кубический фут" осветительного газа.

150. Методы передачи тепла.—Одним из наиболее практических преимуществ изучения тепла является более четкое понимание различных методов, с помощью которых тепло передается из одного места в другое, и разумное представление о средствах, используемых для предотвращения передачи тепла.

Вначале следует определенно понять, что *холод означает отсутствие тепла*, точно так же, как темнота подразумевает отсутствие света, поэтому, когда говорят о проникновении холода в дом, на самом деле имеется в виду либо поступление холодного воздуха через какое-либо отверстие, либо утечка тепла.

Существует три различных метода передачи тепловой энергии из одного места в другое, в зависимости от среды или вещества, которое передает тепло.

а. Твердое тело передает тепло методом, называемым *проводимостью*.

б. Жидкость, будь то жидкость или газ, передает тепло в основном методом, называемым *конвекцией*.

с. Космос передает энергию горячих объектов методом, называемым *излучением*.

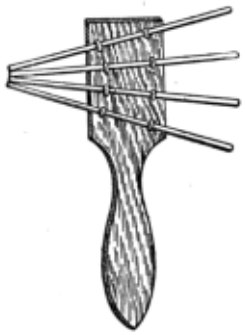


Fig. 130.—Solids conduct heat.

Рис. 130.Твердые тела проводят тепло.

151. Электропроводность.—Чтобы проиллюстрировать электропроводность, поместите в газовое пламя концы тех же металлических проволок, что и на рис. 130. За короткое время другие концы проводов нагреваются настолько, что обжигают руку. Это можно объяснить следующим образом: пламя горячего газа содержит молекулы, находящиеся в сильной вибрации, и те, кто ударяется о провод, заставляют его молекулы быстро вибрировать. Поскольку в твердом теле молекулы удерживаются в одних и тех же относительных положениях, при нагревании одного конца проволоки быстро вибрирующие молекулы на горячем конце заставляют вибрировать своих соседей, а те - следующих по очереди, и так далее, пока вся проволока не нагреется. Удачным обстоятельством является то, что разные вещества обладают разной степенью теплопроводности. Чтобы понять это, предположим, что наша одежда была бы таким же хорошим проводником, как железо, тогда одежда была бы очень неудобной как в жаркую, так и в холодную погоду. Лучшими проводниками тепла являются металлы. Интересно отметить, что, как правило, хорошие проводники тепла также

являются хорошими проводниками электричества, в то время как плохие проводники тепла также являются плохими электрическими проводниками. Тщательные эксперименты по проверке скорости передачи тепла через различные вещества показывают следующие показатели проводимости.

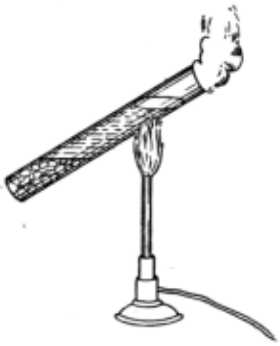


Fig. 131.—Water is a poor conductor of heat.

Рис. 131.—Вода плохо проводит тепло.

Эти цифры представляют собой средние значения, взятые в основном из физических таблиц Смитсоновского института:

Серебро	100
медь	74
алюминиевый	35
латунный	27
цинковый	26
железной	15
олова	14.7
нейзильбера	8.4
ртути	1.7
Гранит	0.53
известняка	0.52
лед	0.5
стакан	0.2
водой	0.124
сосны, с зерном	0.03

сосны поперек волокон	0.01
чувствовал	0.008
воздуха	0.005

Чтобы проверить электропроводность *жидкостей*, возьмите пробирку, почти полную холодной воды, держите нижний конец в руке, пока пробирка наклонена так, чтобы верхний конец нагревался газовым пламенем, пока вода не закипит. Будет обнаружено, что нижний конец остается холодным. (См. рис. 131.) Тщательные измерения электропроводности воды показывают, что тепло передается через нее лишь на 1/800% так же быстро, как через серебро, в то время как воздух проводит лишь на 1/25} быстрее, чем вода.

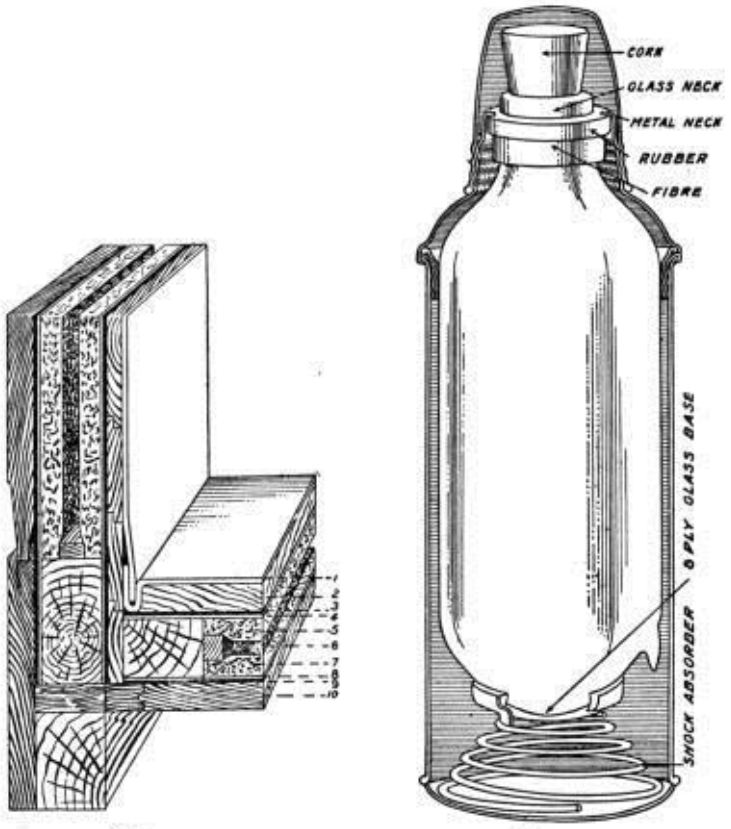


FIG. 132. FIG. 133.

FIG. 132.—Wall construction of a refrigerator. 1, Porcelain enamel lining lock joint; 2, inside wood lining; 3, 3-ply red rope waterproof paper; 4, wool felt deafening paper; 5, flaxlinum insulation; 6, dead air space; 7, flaxlinum insulation; 8, wool felt deafening paper; 9, 3-ply red rope waterproof paper; 10, outside wood case.

FIG. 133.—Sectional view of a Thermos bottle.

Рис. 132.—Конструкция стенки холодильника. 1, Замковое соединение облицовки фарфоровой эмалью; 2, внутренняя деревянная облицовка; 3, 3-слойная красная веревочная водонепроницаемая бумага; 4, шерстяная войлочная оглушающая бумага; 5, изоляция из льняного полотна; 6, мертвое воздушное пространство; 7, льняная изоляция; 8, шерстяная войлочная оглушающая бумага; 9, 3-слойная красная веревочная водонепроницаемая бумага; 10, внешний деревянный футляр.
Рис. 133. Вид термоса в разрезе.

152. Непроводники и их применение.—Однако многие твердые вещества являются плохими проводниками, такие как кожа, мех, войлок и шерстяная ткань. Своей

непроводимостью эти вещества обязаны главным образом тому факту, что они пористые. Воздух, заполняющий крошечные промежутки между этими веществами, является одним из самых плохих известных проводников и препятствует передаче тепла через эти твердые частицы. По той же причине рыхлый снег является защитой для покрытой им растительности в период сильных зимних холодов. Эффективность штормовых створок или двойных окон, а также двойных и тройных стен ледяных домов и холодильников (см. рис. 132) в предотвращении теплопроводности также в значительной степени обусловлена плохой проводимостью воздуха, находящегося в пространствах между стенами. Чтобы предотвратить циркуляцию воздуха, в пространство между стенками такой конструкции часто неплотно набивают опилки, древесный уголь и другие пористые материалы.

Другие примеры эффективных непроводников придутся на ум каждому; например, *шерстяная* одежда, *деревянные* ручки для горячих предметов и *упаковка*, используемая в плитах без огня. *Термос* эффективен как непроводник тепла, поскольку воздух выходит из пространства между двойными стенками (рис. 133 и 134).

Из нескольких предметов, находящихся в холодной комнате, некоторые кажутся намного холоднее на ощупь, чем другие, так, железо, мрамор, клеенка и фаянс будут холоднее шерстяной ткани, ковра, перьев или бумаги. Первые четыре объекта ощущаются холодными, потому что они являются проводниками и быстро отводят тепло от руки. Другие названные вещества не являются проводниками и, следовательно, отводят тепло от руки менее быстро и, следовательно, не ощущаются такими холодными. Аналогичным образом, если рука коснется нескольких горячих предметов, хорошими проводниками будут те, которые быстрее всего обожгут один из них, быстро передавая тепло к руке. Однако непроводники редко обжигают один. Почему ручки горячей посуды часто изготавливаются из непроводящих материалов, таких как дерево, ткань, асбест и т.д.?

FIG. 134.—Cross-section of the vacuum flask in a Thermos bottle.

Рис. 134.—Поперечное сечение вакуумной колбы в термосе.

153. Излучение - это метод, с помощью которого тепло поступает к нам от солнца через пространство, не содержащее материальной материи. Это также метод, с помощью которого к нам поступает тепло, когда мы стоим у огня. Все заметили, что это тепло отключается, если держать предмет между человеком и огнем. Этот факт указывает на то, что лучистое тепло распространяется по *прямым* линиям.

Считается, что тепловое излучение осуществляется с помощью волн в среде, называемой *эфиром*, которая невидима и, тем не менее, пронизывает все. Тремя наиболее важными характеристиками излучения являются *во-первых, тепло передается излучением со скоростью света*, или 186 000 миль в секунду. Об этом факте свидетельствует прекращение как солнечного тепла, так и света в одно и то же мгновение во время солнечного затмения. *Во-вторых, лучистое тепло*[ш] *распространяется по прямым линиям*, в то время как другие

способы передачи тепла могут проходить по нерегулярным траекториям. О прямолинейном движении лучистого тепла свидетельствует его отключение там, где между источником тепла и защищаемым объектом установлен экран. *В-третьих, лучистое тепло может проходить через объект, не нагревая его.* Об этом свидетельствует холод верхних слоев атмосферы, а также тот факт, что оконное стекло может незначительно нагреваться от тепла и света солнца, которые проходят через него.

Когда лучистая энергия падает на какой-либо объект, она может (а) *отражаться* от поверхности объекта, (б) *передаваться* через вещество, (в) поглощаться. Все три этих эффекта проявляются в разной степени с разными порциями излучения. *Хорошо отполированные поверхности являются хорошими отражателями.* Шероховатые и почерневшие поверхности являются *хорошими поглотителями*. Прозрачные объекты - это те, которые хорошо пропускают свет, но даже они поглощают часть энергии.

154. Радиометр.—Излучаемое тепло может быть обнаружено с помощью радиометра (рис. 135). Он состоит из стеклянной колбы, из которой почти полностью вышел воздух. Внутри нее находится колесо с четырьмя лопастями из слюды или алюминия, установленными на вертикальной оси. Одна сторона каждой лопасти покрыта ламповой сажей, другая тщательно отполирована. при воздействии теплового излучения от любого источника лопасти вращаются светлой стороной вперед.

В колбе настолько мало воздуха, что единственная оставшаяся молекула может переместиться от стенок колбы к лопастям, не вступая в контакт с другой молекулой.

Зачерненные грани поглощают больше тепла, чем тщательно отполированные грани. Молекулы воздуха, ударяющиеся об эти почерневшие стороны, получают больше тепла и поэтому отскакивают с большей скоростью, чем с другой стороны, оказывая, таким образом, большее давление. Поэтому почерневшие стороны отбрасываются назад. Если бы воздух не был настолько разрежен, молекулы воздуха ударялись бы друг о друга так часто, что выравнивали давление, и движения не было бы.

FIG. 135.—A radiometer.

Рис. 135—радиометр.

Солнечное излучение.—Точные тесты количества солнечного излучения, получаемого на квадратный сантиметр земной поверхности, перпендикулярный солнечным лучам, были проведены на горе Уилсон в 1913 году. Среднее значение за 690 наблюдений составило 1,933 калории в минуту. Эти результаты показывают, что солнечного излучения на квадратный сантиметр достаточно, чтобы нагревать 1 г воды на 1,933 ° С каждую минуту. Хотя *природа излучения* не обсуждается до тех пор, пока статья 408-411 не будет

опубликована в "Свете", здесь следует сказать, что все тела излучают тепловые волны при любых температурах, причем тепловые волны от холодных тел намного длиннее, чем от горячих. Стекло пропускает короткие световые волны свободно, но более длинные тепловые волны от предметов комнатной температуры проходят с трудом. Именно по этой причине стекло используется для покрытия теплиц и грядок с подогревом. Вода также поглощает большую часть более длительных тепловых волн. Поэтому он используется в стереоптиконах для предотвращения повреждения тонких стекол фонарей при перегреве.

Важные темы

1. Проводимость в твердых телах, жидкостях, газах.

2. Непроводники; применение, лучшие непроводники.

3. Излучение, три характеристики.

4. Солнечное излучение, количество. Радиометр.

Упражнения

1. Согревает ли нас одежда зимой? Как же тогда она согревает нас?

2. Почему растения часто укрывают бумагой ночью, когда ожидаются заморозки?

3. Образуется ли иней осенью раньше на деревянном или цементном тротуаре? Почему? На каком из них лед остается дольше? Почему?

4. Почему при замораживании мороженого мы кладем лед в деревянное ведерко, а сливки - в жестяное?

5. Железо лучше кирпича или фарфора в качестве материала для печей? Объясните.

6. Что лучше, хороший или плохой проводник для поддержания тепла тела? для поддержания прохлады тела?

7. Должно ли дно чайника быть полированным? Объясните.

8. Как делаются сейфы огнестойкими?

9. Объясните принцип работы термоса.

10. Объясните, почему скрученные из проволоки ручки некоторых предметов, таких как подъемники крышек, дверцы духовок и т.д., не нагреваются.

(5) Передача тепла в жидкостях. Отопление и вентиляция

155. Конвекция.—Хотя жидкости являются плохими проводниками, они могут передавать тепло более эффективно, чем твердые вещества, в режиме, называемом *конвекцией*. Для иллюстрации: Если жара применяется на *вершине* в пробирку воды, горячей воды, зажигалка находится наверху, а внизу вода остается холодной. С другой стороны, если приложить тепло к *дну* сосуда, как только вода на дне нагревается (выше 4 ° C), она расширяется, становится светлее и выталкивается наверх более холодной и плотной водой, окружающей ее. Такая циркуляция воды продолжается до тех пор, пока снизу подается тепло, пока вся вода не будет доведена до температуры кипения. (См. рис. 136.)

Когда жидкость или газ нагревают только что описанным способом, говорят, что тепло передается за счет *конвекции*. Таким образом, воздух в нижней части помещения может

получать тепло за счет отвода от плиты или радиатора. Поскольку он расширяется при нагревании, более холодный и плотный воздух вокруг него выталкивается вверх, который занимает его место, создавая таким образом циркуляцию воздуха в помещении. (См. рис. 137.) Нагретые потоки воздуха отдают свое тепло предметам в помещении по мере продолжения циркуляции. Эти воздушные потоки можно легко наблюдать, используя дым от горящей "сенсорной бумаги" (неглазурованной бумаги, которую окунули в раствор нитрата калия ["селитра"] и высушили).

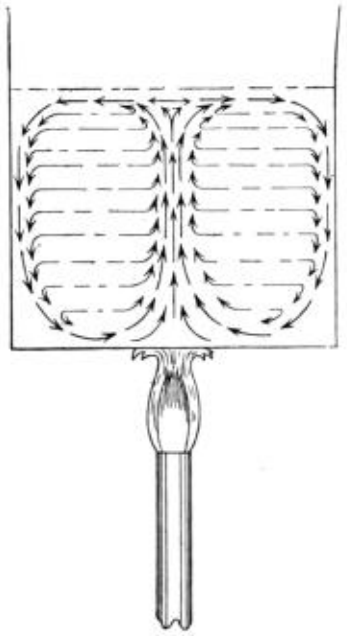


FIG. 136.—Convection in a liquid.

Рис. 136.—конвекция в жидкости.

156. Тяга в дымоходе.—Когда в плите или топке разжигается огонь, воздух над огнем нагревается, расширяется и, следовательно, становится менее плотным, чем был раньше. Этот теплый воздух и нагретые газы, которые являются продуктами сгорания топлива, весят меньше, чем равный объем более холодного воздуха снаружи. Поэтому их толкает вверх сила, равная разнице между их весом и весом равного объема более холодного воздуха.

Вскоре дымоход заполняется этими нагретыми газами. (См. рис. 138.) Они выталкиваются вверх под давлением более холодного и плотного воздуха, потому что этот более холодный воздух под действием силы тяжести сильнее тянется вниз, чем нагретые газы в дымоходе.

При прочих равных условиях, чем выше дымоход, тем больше тяга, потому что существует большая разница между весом газов внутри и весом равного объема наружного воздуха.

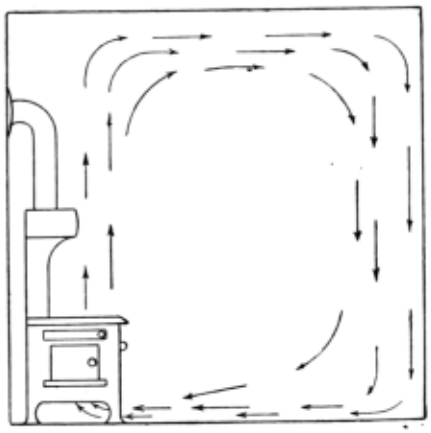


Fig. 137.—Convection currents in a room.

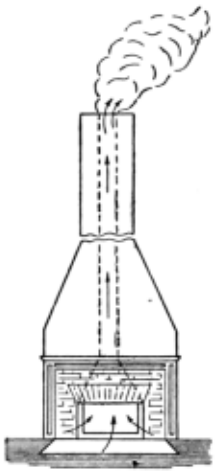


Fig. 138.—Fire place showing draft of a chimney.

Рис. 137.—Конвекционные потоки в помещении.
Рис. 138.—Камин, показывающий тягу дымохода.

157. Конвекционные течения в природе.—Ветры возникают из-за разницы в *давлении* или *плотности* воздуха, причем движение происходит от мест с высоким давлением к местам с низким. Одной из причин разницы в плотности воздуха является разница в температуре. Это иллюстрируется так называемыми *сухопутными* и *морскими бризами* вдоль морского побережья или больших озер. В течение дня температура суши становится выше, чем у моря. Воздух над сушей расширяется и, будучи более легким, перемещается назад и вверх более холодным и плотным воздухом с моря или озера. Это и составляет *морские бризы* (рис. 139). Ночью суша становится прохладнее гораздо раньше, чем море, и течение меняется на обратное, вызывая *бриз с суши*. (См. рис. 140.)

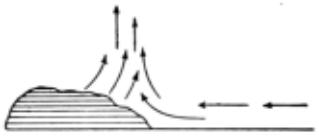


Fig. 139.—Sea breeze.

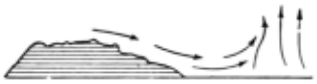


Fig. 140.—Land breeze.

Рис. 139.—Морской бриз.
Рис. 140.— Ветер с суши.

The *Пассаты* - это конвекционные течения, движущиеся к горячему экваториальному поясу как с севера, так и с юга. В горячем поясе воздух поднимается, а верхний поток воздуха возвращается на север и юг. Этот регион восходящих воздушных потоков является регионом обильных осадков, поскольку насыщенный воздух поднимается на прохладные высоты, где его влага конденсируется. *Океанские течения* также являются конвекционными течениями. Их движение обусловлено преобладающими ветрами, различиями в плотности из-за испарения и замерзания, а также вращением земли, а также изменениями температуры.

158. Отопление и вентиляция зданий и связанные с ними проблемы вызывают серьезную озабоченность у всех, кто живет зимой в умеренном поясе. Воздух в жилых комнатах должен быть не только комфортно нагрет, но и постоянно заменяться, особенно в переполненных помещениях общественных зданий, таких как школы, церкви и актовые залы, чтобы каждый человек мог получать 30 или более кубических футов свежего воздуха в минуту. В колониальные времена *открытый камин* служил обычным средством обогрева помещений.

Это обогревало помещение в основном за счет *излучения*. Это было расточительно, поскольку большая часть тепла уходила в дымоход. Этот режим отопления обеспечивал достаточную *вентиляцию*. В современных домах иногда устраивают камины для улучшения вентиляции.

Бенджамин Франклин, видя бесполезную трату тепла в открытых каминах, изобрел железный ящик для хранения огня. Он был установлен в комнате и обеспечивал тепло за счет теплопроводности, конвекции и излучения. Она называлась *печкой Франклина* и во многих формах до сих пор широко используется. Он экономит большую часть тепла, выделяемого при сжигании топлива, и обеспечивает некоторую вентиляцию за счет тяги.

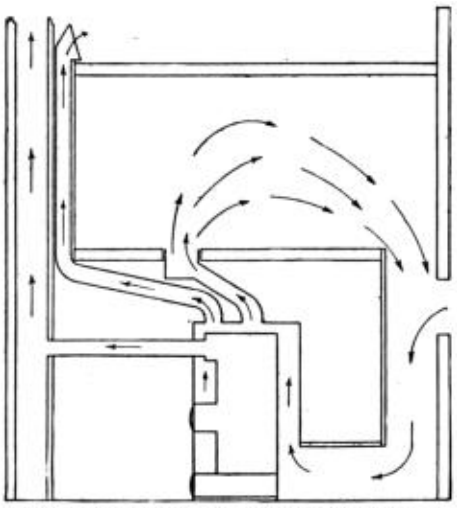


FIG. 141.—Heating and ventilating by means of a hot-air furnace.

Рис. 141.—Отопление и вентиляция с помощью печи с горячим воздухом.

159. Нагрев горячим воздухом.—Наличие печей в жилых комнатах домов сопровождается раздражением от разбросанного топлива, пыли, пепла, дыма и т.д. Одна из попыток устранить это неудобство привела к размещению большой печи или топки в подвале или погребе, окружив ее кожухом, чтобы обеспечить пространство для нагрева воздуха, который затем по трубам направляется в помещения наверху. Это устройство называется печью с горячим воздухом. (См. рис. 141.) Нагретый воздух поднимается вверх, потому что его выталкивает более холодный и плотный воздух, поступающий по трубам холодного воздуха. *Воздушная печь* обеспечивает хорошую циркуляцию теплого воздуха, а также вентиляцию при условии, что некоторое количество холодного воздуха поступает в печь снаружи. Одно из возражений против его использования заключается в том, что он может обогревать здание неравномерно, поскольку одна часть будет очень горячей, в то время как другая может быть прохладной. Чтобы обеспечить равномерное и достаточное количество тепла во всем большом здании, используется *водяное* или *паровое отопление*.

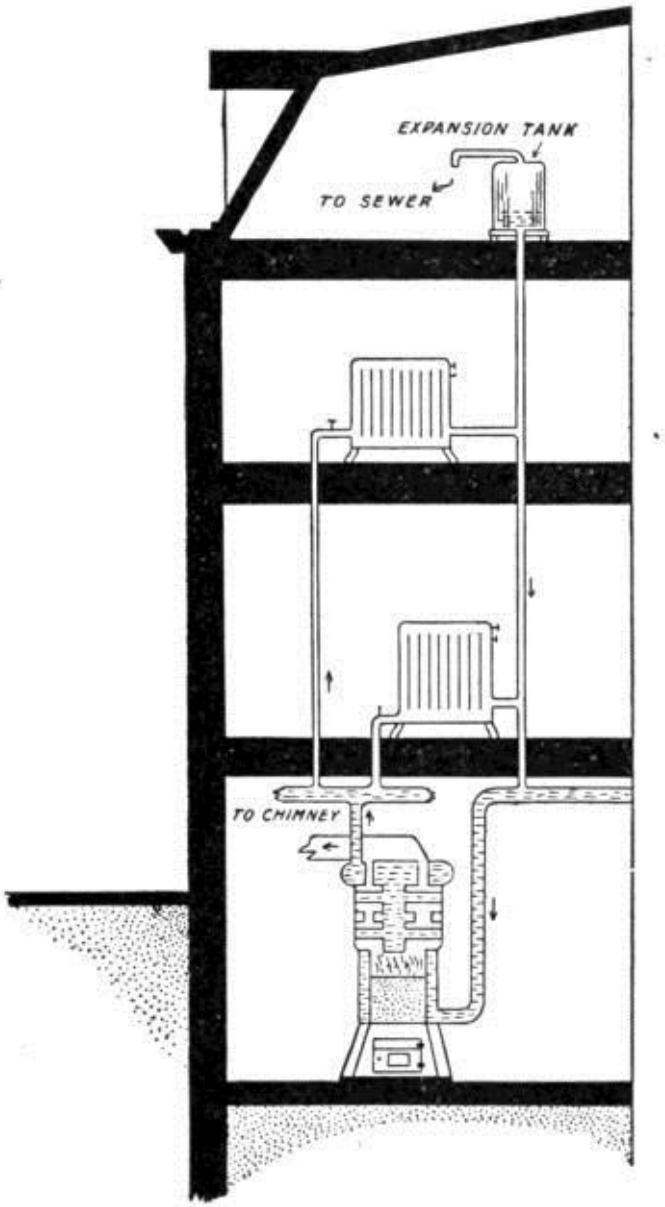


FIG. 142.—A hot-water system of heating.

Рис. 142.—Водогрейная система отопления.

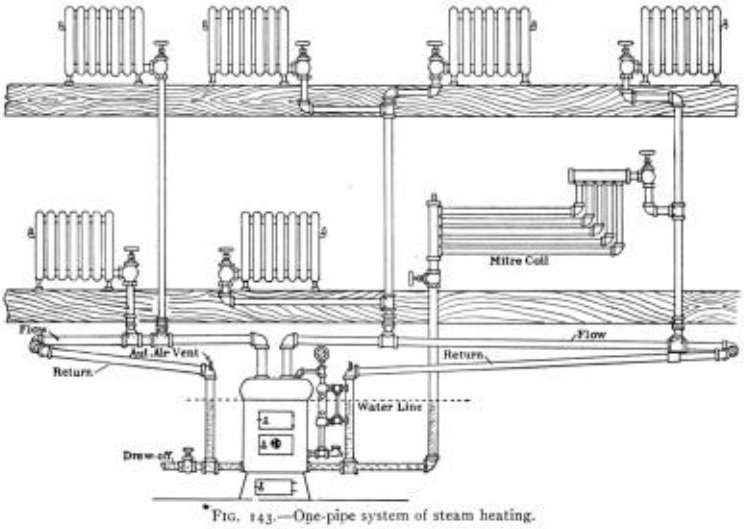


FIG. 143.—One-pipe system of steam heating.

Рис. 143.—Однотрубная система парового отопления.

160. Водяное отопление.—При водяном отоплении печь, предназначенная для нагрева воды, размещается в подвале. (См. рис. 142.) К верхней части водонагревателя прикреплены трубы, ведущие к радиаторам в различных помещениях; другие трубы соединяют радиаторы с нижней частью котла. Нагреватель, трубы и радиаторы заполняются водой перед разжиганием огня. Когда вода нагревается, она расширяется и выталкивается вверх по трубам более холодной водой из обратного трубопровода. Продолжающаяся циркуляция подводит горячую воду к радиатору, в то время как охлажденная вода возвращается в водонагреватель, при этом горячие радиаторы обогревают несколько комнат.

161. Паровое отопление.—При *паровом отоплении* паровой котел соединен с радиаторами трубами. (См. рис. 143.) Пар вытесняет воздух из труб и радиаторов и служит эффективным источником тепла. Нагрев паром осуществляется *быстрее*, чем нагрев горячей водой. Поэтому его предпочитают там, где требуется быстрое и эффективное отопление. Горячая вода менее интенсивна и более экономична в мягкую погоду и часто используется в частных домах.

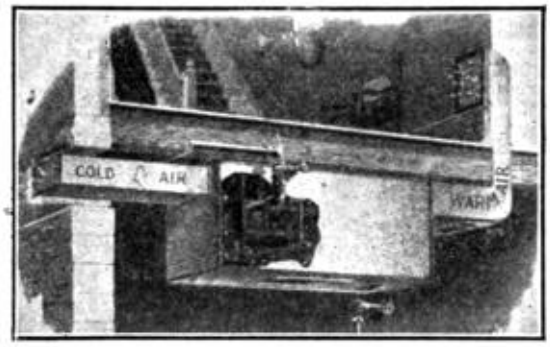


FIG. 144.—Heating by an indirect radiator with side-wall register.

Рис. 144.—Обогрев непрямым радиатором с регистратором на боковой стенке.

162. Прямой и непрямой нагрев.—При отоплении с помощью *прямого излучения* (рис. 142, 143) паровые или водяные радиаторы устанавливаются в отапливаемых помещениях. При

прямом излучении вентиляция должна обеспечиваться специальными средствами, такими как открывающиеся окна, двери и вентиляторы. Иногда радиаторы устанавливаются в коробке или комнате в подвале. Затем наружный воздух прогоняется вентилятором над горячими радиаторами отопления. Нагретый таким образом воздух по трубам подается в несколько комнат. Это устройство называется *непрямым нагревом*. (См. рис. 144.) Можно заметить, что последний метод обеспечивает как тепло, так и вентиляцию, и поэтому часто используется в школах, церквях, зданиях судов и магазинах. Поскольку нагретый воздух, особенно в холодную погоду, имеет низкую *относительную влажность*, следует предусмотреть некоторые средства увлажнения воздуха жилых помещений. Слишком сухой воздух вреден для здоровья, а также для мебели и изделий из дерева. Чрезмерное высыхание дерева и клея в мебели часто приводит к ее развалу.

Fig. 145.—An automatic air valve.

Рис. 145.—Автоматический воздушный клапан.

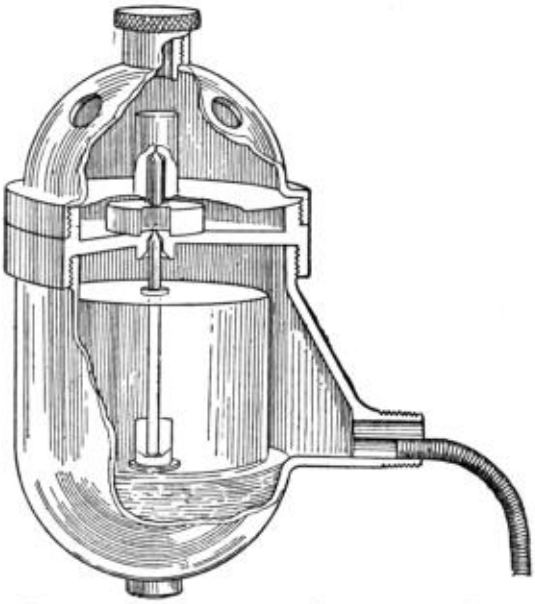


Fig. 146.—An automatic vacuum valve.

Рис. 146.— Автоматический вакуумный клапан.

163. Вакуумное паровое отопление.—При паровом отоплении воздушные клапаны (рис. 145) устанавливаются на радиаторах для выхода содержащегося в них воздуха при включении подачи пара. Когда весь воздух выходит, клапан закрывается. Иногда используются автоматические вакуумные клапаны (рис. 146). При слабом горении и отсутствии давления пара в радиаторах давление воздуха закрывает клапан, создавая частичный вакуум внутри. Температура кипения воды падает по мере снижения давления

на нее. Поскольку вода не будет кипеть при обычном атмосферном давлении до тех пор, пока ее температура не достигнет 100 ° C (212 ° F.), из этого следует, что при использовании вакуумных систем, часто называемых паровыми системами, парового отопления вода будет выделять горячий пар даже после того, как огонь будет потушен в течение нескольких часов. Это приводит к значительной экономии топлива.

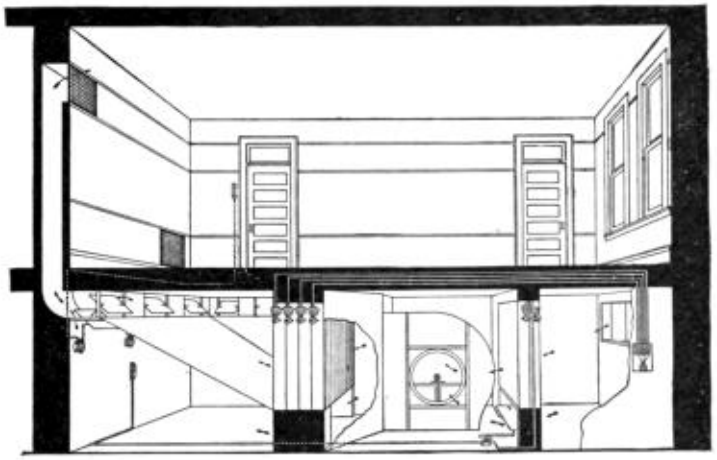


FIG. 147.—Plenum hot-blast system with temperature regulation.

Рис. 147.—Приточная система горячего дутья с регулировкой температуры.

164. Приточная система отопления.—В приточной системе отопления (см. рис. 147) свежий воздух подается через окно с улицы и сначала проходит через нагревательные змеевики, где температура повышается примерно до 70 °. Затем вентилятор прогоняет часть воздуха через нагревательные змеевики, где он повторно нагревается и поднимается до гораздо более высокой температуры, в зависимости от погодных условий. Как горячий, так и закаленный воздух поддерживается под давлением вентилятором в приточном помещении и вытесняется из этого помещения по воздуховодам из оцинкованного железа в различные помещения, подлежащие обогреву. Загрязненный воздух вытесняется из помещения по вентиляционным каналам, которые ведут на чердак, где он выходит через вентиляторы в крыше.

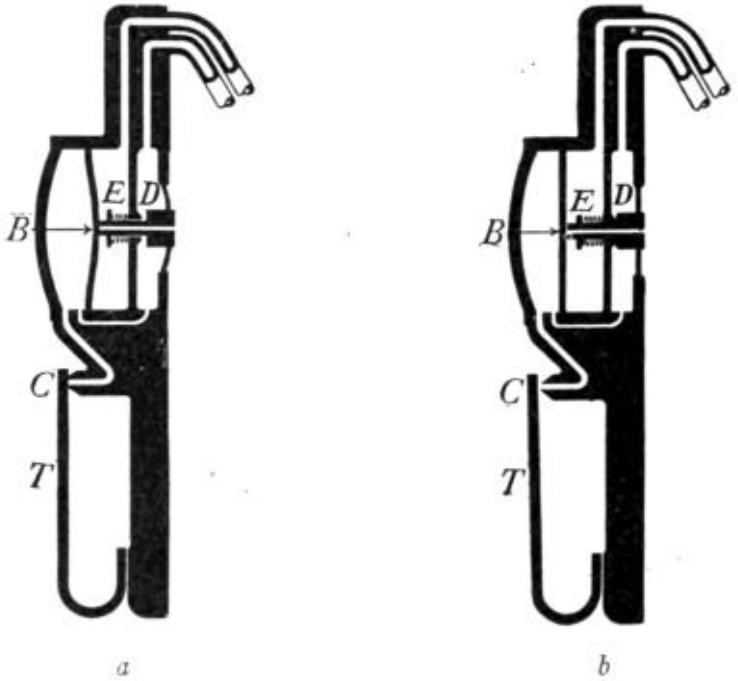


FIG. 148.—A thermostat. (Johnson System.)

Рис. 148.-Термостат. (Система Джонсона.)

Для поддержания надлежащей температуры охлажденного воздуха в приточной части установлен термостат. Этот термостат управляет перепускной заслонкой под темперирующими змеевиками, а иногда и клапанами на змеевиках. Смесительные заслонки в основании воздуховодов из оцинкованного железа регулируются соответствующими комнатными термостатами. Заслонки вентиляции чердака, подачи свежего и обратного воздуха управляются пневматическим переключателем. Для этой системы можно легко установить увлажнитель воздуха. Эта система отопления разработана специально для школьных зданий, где необходима надлежащая вентиляция.

165. Термостат.—Один из многих примеров расширения металлов показан на одной из форм термостата (рис. 148), в котором два куска из разных металлов и с неодинаковой скоростью расширения, такие как латунь и железо, надежно скреплены вместе.

Термостатическая полоска *T*, перемещающаяся внутрь и наружу, в зависимости от температуры в помещении, изменяет количество воздуха, которое может выходить через небольшое отверстие *C*. Когда отверстие *C* полностью закрыто (рис. 148*a*), полное давление воздуха скапливается на диафрагме *B*, которая опускает главный клапан, позволяя сжатому воздуху из основного проходить через камеру *D* в камеру *E*, когда клапан отрывается от своего седла. Затем воздух из камеры *E* поступает в патрубок для приведения в действие заслонки.

Когда порт *C* полностью открыт (рис. 148*b*), давление воздуха на диафрагму *B* уменьшается, противодавление в *E* поднимает диафрагму, и воздух из патрубка выходит через полый шток главного клапана, приводя заслонку в действие в направлении, противоположном направлению, когда *C* закрыт.

Важные темы

1. Передача тепла в жидкостях.

2. Конвекция. Сквозняки из дымохода. Сухопутные и морские бризы.

3. Отопление и вентиляция зданий.

(a) горячим воздухом.
(b) нагревом горячей водой.
(c) Паровой нагрев.
(d) прямой и непрямой нагрев.
(e) Вакуумный паровой нагрев.
(f) Система нагнетания.
(g) Термостат.

Упражнения

1. Отапливается ли помещение в основном за счет теплопроводности, конвекции или излучения от (а) печи, (б) печи с горячим воздухом, (в) парового радиатора?

2. Назовите три естественных конвекционных течения.

3. Объясните, что такое *тяга* в дымоходе. *Что* это? *Почему* это происходит?

4. Сделайте *эскиз вашей гостиной в*разрезе и укажите конвекционные потоки, с помощью которых обогревается помещение. *Объясните*, как работает отопление в помещении.

5. Нарисуйте эскиз, показывающий, как нагревается вода в баке для горячей воды на кухне или в прачечной. Объясните свой эскиз, указав конвекционные потоки.

6. Экономично ли содержать плиты и радиаторы в чистоте? Объясните.

7. Если вы откроете дверь между теплой и прохладной комнатами, каково будет направление воздушных потоков вверху и внизу двери? Объясни.

8. Если система водяного отопления содержит 100 кубических футов воды, сколько тепла потребуется для повышения ее температуры на 150 ° F.?

9. Почему высокий дымоход дает лучшую тягу, чем короткий?

10. Объясните, как отапливается и вентилируется ваша школьная комната.

11. Следует ли устанавливать паровой или водогрейный радиатор у пола или у потолка помещения? Почему?

12. В системе водяного отопления открытый резервуар, соединенный с трубами, размещается на чердаке или над самым высоким радиатором. Объясните его назначение.

(6) Влажность в атмосфере, гигрометрия

166. Водяной пар в воздухе.—Количество водяного пара, присутствующего в воздухе, оказывает заметное влияние на погоду и климат той или иной местности. Таким образом, изучение состояния влажности атмосферы, или гигрометрия, представляет общий интерес и важность. Водяной пар в атмосфере образуется исключительно за счет испарения из водоемов, снега или льда. При обсуждении испарения оно описывается как результат постепенного выхода молекул в воздух с поверхности жидкости. Это описание в точности соответствует условиям, обнаруженным всеми внимательными наблюдателями. Поскольку молекулы воздуха постоянно ударяются о поверхность жидкости, многие из них проникают в нее и поглощаются. Таким же образом многие молекулы пара возвращаются в жидкость, и если в воздухе присутствует достаточное количество молекул пара, так что каждую секунду

в жидкость возвращается столько молекул пара, сколько их покидает, пространство над жидкостью называется *насыщенным*, как описано ранее. (См. статью 18.)

167. Условия насыщения.—Если жидкость испаряется в вакууме, молекулы при выходе не встречают сопротивления до тех пор, пока не достигнут пределов сосуда, содержащего вакуум. Испарение в этих условиях происходит с большой скоростью, и пространство насыщается почти мгновенно. Однако, если присутствует воздух при обычном давлении, многие молекулы обычного водяного пара при выходе сталкиваются с молекулами воздуха, находящимися непосредственно над ними, и возвращаются в воду. Выходящие молекулы постепенно прокладывают себе путь вверх по воздуху. Это объясняет, почему наша атмосфера не часто бывает насыщенной даже вблизи больших водоемов: замедляющее воздействие воздуха на испарение предотвращает насыщение не только слоев воздуха у поверхности воды.

Точно так же, как количество соли, которое может удерживаться в растворе в жидкости, уменьшается при охлаждении раствора (статья 26), так и количество водяного пара, которое может удерживаться в воздухе, уменьшается при снижении его температуры. Если охлаждать воздух, недостаточно влажный для насыщения водяным паром, то по мере продолжения охлаждения он, наконец, достигнет температуры, при которой будет насыщен или будет содержать весь водяной пар, который он может удерживать при этой температуре. При дальнейшем охлаждении воздуха часть водяного пара конденсируется и может образовывать туман, росу, дождь, снег и т.д., Форму это принимает в зависимости от того, где и как происходит охлаждение.

168. Образование росы.—Если охлаждение атмосферы происходит на поверхности какого-либо холодного объекта, который понижает температуру воздуха ниже точки его насыщения, часть его влаги конденсируется и собирается на холодной поверхности в виде *росы*. Летом это можно заметить на поверхности кувшина с ледяной водой. Ночью температура травы и других объектов вблизи или на земле может падать намного быстрее, чем температура атмосферы, из-за теплового излучения этих объектов. Если температура упадет ниже точки насыщения, образуется роса. Этому естественному излучению препятствует облачность, поэтому в пасмурные ночи образуется мало росы. Ясные ночи способствуют распространению радиации, поэтому у нас больше всего росы в ночи, когда небо ясное. Если температура ниже нуля, вместо росы образуется *иней*.

169. Образование тумана.—Если ночное похолодание достаточно велико, чтобы охладить воздушную массу у земли ниже температуры насыщения, то может не только образоваться роса, но и некоторое количество влаги конденсируется в самом воздухе, обычно на взвешенных в нем мелких частицах пыли. Это создает *туман*. Если охлаждение воздушной массы происходит над поверхностью Земли, например, когда теплый влажный поток воздуха попадает в более холодную область, *например,*, перемещается над вершиной холодной горы или в верхние слои воздуха, то по мере охлаждения этого воздуха ниже его точки насыщения происходит конденсация мелких взвешенных частиц пыли и образуется *облако*. Если в облаке присутствует много влаги, капли воды увеличиваются в размерах до тех пор, пока не начнут падать и не начнется *дождь*; или, если будет достаточно холодно, вместо дождя будут формироваться и падать снежинки. Иногда порывистый ветер во время сильных гроз уносит дождевые капли в более холодные, а затем в более теплые регионы, попеременно замораживая и увлажняя капли или кусочки льда. Говорят, что именно таким образом образуется *град*.

170. Точка росы.—Температура, до которой необходимо охладить воздух для его насыщения, или температура, при которой начинается конденсация, называется *точкой росы*. Это часто определяется в лаборатории путем частичного заполнения полированного

металлического сосуда водой и охлаждения воды добавлением льда до образования тонкой пленки влаги на внешней поверхности. Температура поверхности в момент первого образования влаги называется точкой росы.

171. Влажность атмосферы.—После определения точки росы можно рассчитать *относительную влажность* или *степень насыщенности атмосферы* по таблице, приведенной ниже. Это определяется как *отношение количества водяного пара, присутствующего в воздухе, к количеству, которое присутствовало бы, если бы воздух был насыщен при той же температуре*.

Например, если точка росы равна 5 °C, а температура воздуха равна 22 °C, мы находим плотности водяного пара при двух температурах и находим их соотношение: 6,8 /19,3 = 35%. почти. Измерения влажности могут указывать на дождь или мороз и регулярно производятся на станциях метеобюро. Их также проводят в таких зданиях, как теплицы, больницы и школы, чтобы определить, достаточно ли влажен воздух. Для наиболее благоприятных условий относительная влажность должна составлять от 40%. до 50%.

Вес воды ($вт$) в граммах, содержащейся в 1 кубическом метре насыщенного воздуха при различных температурах ($t°$)C.

$т°$с.$ш$
-10 2.1
- 9 2.4
- 8 2.7
- 7 3.0
- 6 3.2
- 5 3.5
- 4 3.8
- 3 4.1
- 2 4.4
- 1 4.6
0 4.9
1 5.2
2 5.6
3 6.0
4 6.4
5 6.8

67.3

77.7

88.1

98.8

109.4

1110.0

1210.6

1311.3

1412.0

1512.8

1613.6

1714.5

1815.1

1916.2

2017.2

2118.2

2219.3

2320.4

2421.5

2522.9

2624.2

2725.6

2827.0

2928.6

3030.1

172. Гигрометр для измерения влажности и сухости колбы.—Устройство для индикации относительной влажности воздуха называется *гигрометром*. Существуют различные формы. *Гигрометр с*влажной*и*сухой колбами показан на рис. 149. Это устройство состоит из двух термометров, колба одного из которых сухая и находится на воздухе, а другая колба

постоянно увлажняется с помощью фитиля, опускаемого в сосуд с водой. В этом приборе применен принцип охлаждения путем испарения. Если воздух не насыщен настолько, чтобы предотвратить испарение, термометр с влажной колбой показывает более низкую температуру, разница в которой зависит от количества влаги в воздухе или от относительной влажности. Большинство измерений относительной влажности производится с помощью такого прибора. Для точного определения необходимо в течение некоторого времени обдувать термометры воздухом, прежде чем снимать показания. Затем относительная влажность определяется с помощью таблиц, показывающих относительную влажность, соответствующую любым показаниям термометров.

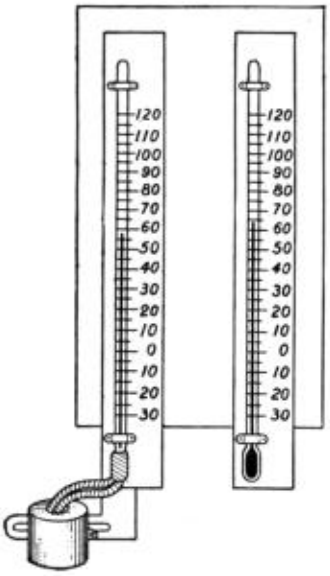


FIG. 149.—Wet and dry bulb hygrometer.

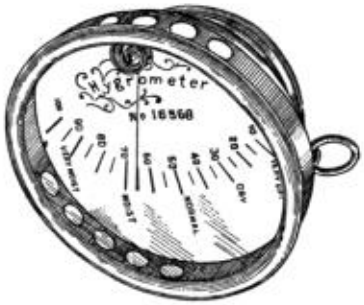


FIG. 150.—A dial hygrometer.

Рис. 149.—Гигрометр влажной и сухой колбы.
Рис. 150.—Шкала гигрометра.

Широко используемая форма гигрометра показана на рис. 150. В этом устройстве тонкая полоска гигроскопичного материала (в виде кусочка гусиного пера) скручивается в спираль. Один ее конец прикрепляется к столбу. На другом конце закреплена стрелка или указатель. Последний перемещается по печатной шкале и непосредственно показывает относительную влажность. Его показания следует проверять, сравнивая их с результатами определения точки росы. Положение указателя можно регулировать поворотом стойки.

Важные темы

1. Водяной пар в воздухе. Причина и следствие.

2. Образование росы, тумана, дождя и снега.

3. Точка росы, относительная влажность.

4. Использование гигрометра с сухой и влажной колбой. Гигрометр с гусиным пером.

Упражнения

1. Как влияет потепление на относительную влажность воздуха? Объясните.

2. Чем белое облако пара, видимое около локомотива в холодную погоду, отличается от тумана? Объясните.

3. Одинакова ли относительная влажность воздуха на улице и в помещении в холодную погоду? Объясните.

4. Сравните относительную влажность воздуха в пустыне и вблизи океана.

5. Найдите происхождение термина "гигрометр". Расскажите об использовании прибора.

6. Найдите относительную влажность воздуха при 20 ° С. если его точка росы равна 10°С.

7. Как можно повысить относительную влажность воздуха в доме?

8. Как влияет на человека высокая влажность летом? Как вы это объясняете?

9. Выпадает ли роса? Объясните, как образуется роса?

10. В чем облако похоже на туман? В чем отличие?

11. Почему айсберги часто окутаны туманом?

12. Образуется ли роса днем? Объясните.

(7) Испарение

173. Эффекты испарения.—В статье 19 упоминается охлаждающий эффект испарения и дается некоторое объяснение наблюдаемому охлаждающему эффекту. Поскольку испарение используется многими способами и поскольку его действие просто объясняется проведенным нами исследованием молекулярных движений и молекулярных сил, возможно, будет полезно рассмотреть этот вопрос подробнее.

Возьмите три неглубокие посудины и налейте в одну немного воды, в другую - немного спирта, а в третью - немного эфира, причем жидкости берите из бутылок, которые простояли несколько часов в комнате, чтобы все были одинаковой температуры. Через короткое время измерьте температуру трех жидкостей. Температура каждого из них будет ниже, чем в начале, но из трех эфир окажется самым холодным, спирт - следующим, а вода - ближайшей к своей первой температуре. Следует также заметить, что за это же время больше всего испарилось эфира. Сходные эффекты можно наблюдать, капнув по нескольку капель каждой из этих трех жидкостей на тыльную сторону ладони или капнув по очереди несколько капель на колбу простого воздушного термометра.

174. Охлаждающий эффект испарения.—Молекулы, которые покидают испаряющуюся жидкость, естественно, являются самыми быстро движущимися, то есть имеющими самую высокую температуру, поэтому при их выходе жидкости становятся холоднее, чем раньше, и тот, чьи молекулы покидают жидкость быстрее всего, естественно, становится самым холодным, то есть эфир, в эксперименте по статье 173. Если бы на поверхность жидкости не оказывалось давления воздуха, то выход молекул был бы значительно увеличен, а температура жидкости быстро понизилась бы.

Чтобы проверить это, налейте эфир в тонкое часовое стекло и поместите его поверх тонкой полоски стекла с каплей холодной воды между ними. Теперь поместите это устройство под ресивер воздушного насоса и выпустите воздух. Быстрое испарение эфира настолько понижает его температуру, что часто капля воды замерзает. Самые низкие температуры достигаются при испарении жидкостей при пониженном давлении.

Оннес путем испарения жидкого гелия при давлении около 1,2 мм рт. Ст. достиг самой низкой из когда-либо достигнутых температур -456 ° F., или -271,3 °С.

Если взять четыре термометра, причем луковицы трех из них смочены соответственно эфиром, спиртом и водой, а четвертая сухая, то при энергичном обмахивании увлажненные термометры показывают, что они были охлаждены, в то время как сухая не пострадала.

Это указывает на то, что обмахивание сухого тела при температуре воздуха не изменяет его температуру. Обмахивание действительно увеличивает испарение за счет удаления воздуха, содержащего испаренные молекулы, вблизи поверхности жидкости, так что ненасыщенный воздух постоянно находится над жидкостью. Если налить пинту воды в бутылку, а другую пинту - в широкую кастрюлю, последняя высохнет гораздо быстрее из-за большей поверхности, на которой может происходить испарение. Применяется на солеварнях, где рассол разливают в неглубокие формы.

175. Скорость испарения.—На скорость испарения влияют несколько факторов. Они были проиллюстрированы в предыдущих параграфах. Чтобы кратко подвести итог:

На скорость испарения жидкости влияют—

a) природа жидкости.

(b) температура жидкости.

c) давление на его испаряющуюся поверхность.

(d) степень насыщения пространства, в которое испаряется жидкость.

(e) скорость циркуляции воздуха над его поверхностью.

(f) площадь поверхности, подверженной испарению.

176. Молекулярное движение в твердых телах.Свидетельством молекулярного движения в жидкостях является расширение при нагревании, испарении и диффузии. Применимы ли какие-либо из этих доказательств к твердым частицам? Общеизвестно, что твердые частицы действительно становятся крупнее при нагревании. На железных дорогах между концами рельсов оставляют промежутки, чтобы при расширении летом они не деформировали колею. На колеса надевают железные шины, нагревая их до легкого скольжения. Затем, при охлаждении, утюг сжимается и плотно прижимает колесо. Многие распространенные демонстрации расширения можно увидеть в аудиториях. Факт испарения твердого вещества часто обнаруживают по запаху вещества. Запах шариков от моли -один из примеров. Камфара также испаряется. У нагретого олова характерный запах, отмеченный многими. Лед и снег исчезают зимой, даже если температура ниже нуля. Влажная одежда "сублимируется насухо", то есть высыхает после замерзания за счет испарения. Несколько кристаллов йода, помещенных в пробирку и слегка нагретых, образуют легко видимый пар, хотя ни один из йодов не плавится. Там, где пар попадает на стенку трубки, он конденсируется обратно в темно-серые кристаллы йода. Это превращение твердого вещества непосредственно в газ и обратно без превращения в жидкость называется *сублимацией*. С помощью этого процесса очищается ряд твердых веществ.

Важные темы

1. Охлаждающий эффект испарения, скорость испарения зависит от шести условий.

2. Эффекты движения молекул в твердых телах: (а) расширение, (б) испарение, (в) сублимация.

Упражнения

1. Охлаждает ли воздух посыпка улиц или тротуаров? Почему?

2. Приведите иллюстрацию для каждого из факторов, влияющих на испарение.

3. Приведите иллюстрацию для каждого из трех свидетельств движения молекул в твердых телах.

4. Поскольку три четверти поверхности земли покрыто водой, почему воздух не насыщается постоянно?

5. Если воздух имеет температуру тела, будет ли обмахивание совершенно сухого лица прохладным? Объясните. Будет ли эффект таким же, если лицо влажное? Объясни.

6. В чем причина образования гор, "Покрытых облаками"?

7. Почему объем выхлопных газов двигателя в холодный зимний день кажется намного больше, чем в теплый летний?

8. Что заставляет незамерзший пруд или озерцо "покрываться паром" в очень холодный зимний день или в очень прохладное утро летом?

9. Когда воздух на вершине горы оседает по склонам в местах с большим давлением, как это повлияет на его температуру? на относительную влажность? Объясни.

10. На нашем тихоокеанском побережье влажные ветры дуют с запада из-за гор. Где будет дождь? Где будет сухо? Объясните.

ГЛАВА VIII

ТЕПЛО И РАБОТА

(1) Измерение теплоты и удельной теплоемкости

177. Удельная теплоемкость.—При изучении плотности и удельного веса становится ясно, что различные вещества сильно различаются по количеству вещества, содержащегося в равных объемах, *например,* свинец намного плотнее воды. Изучение относительной плотности вещества обычно рассматривается в контексте *удельного веса*.

Удельная теплоемкость в отличие от удельного веса связана с *способностью* отводить тепло, которым обладают различные вещества. Определение удельной теплоемкости таково: *Отношение количества тепла, необходимого для изменения температуры данной массы вещества на 1 градус Цельсия, к количеству тепла, необходимому для изменения температуры той же массы воды на 1 градус цельсия.* По определению, требуется 1 калория, чтобы повысить температуру грамма воды на 1 ° С. Следовательно, *удельная теплоемкость* воды принимается равной единице. Удельная теплоемкость большинства веществ, за исключением водорода, *меньше*, чем у воды, и, как правило, чем плотнее тело, тем меньше его удельная теплоемкость, как видно из следующей таблицы:

	Удельный веси	удельная теплоемкость
золота	19.3	0.032
ртути	13.6	0.033
меди	8.9	0.093
латунь	8.4-8.9	0.094
никель	8.57	0.11
утюг	7.5+	0.1125
алюминиевый	2.67	0.218
стекло	2.5-3.6	0.19
льда	0.918	0.504
воздуха	0.00129	0.237
пара	0.00061	0.480
водорода	0.00009	3.409

178. Способ определения удельной теплоемкости.—Удельная теплоемкость тела обычно определяется так называемым *методом смесей*.

Например, вещество определенного веса, скажем, железный шарик весом 200 г, помещают в кипящую воду до тех пор, пока его температура не достигнет 100°C. Предположим, что 300 г воды с температурой 18 ° C помещены в калориметр и что горячий железный шарик, помещенный в воду, повышает ее температуру до 23,5 ° C. Тепло, получаемое водой, равно 5,5 × 300 = 1650 калорий. Это, должно быть, исходило от нагретого железного шара. Затем 200 г железа при охлаждении 76,5 °C. (100 °-23,5 °) дали 1650 калорий. Затем 1 г железа при охлаждении 76,5 °C. При охлаждении 1 г чугуна на 1 °C получится 8,25 калории. получится около 0,11 калории. Тогда удельная теплоемкость чугуна равна 0,11. Для точного определения необходимо учитывать тепло, получаемое калориметром.

179. Теплоемкость воды.—Большая теплоемкость воды полезна для регулирования температуры воздуха вблизи озер и океана. В жаркую погоду температура воды медленно повышается, поглощая тепло от дующих над ней теплых ветров. Зимой большое количество тепла, накопленного в воде, медленно отдается воздуху над ней. Таким образом, климат вблизи океана становится более умеренным как зимой, так и летом из-за большой теплоемкости воды. Такая большая теплоемкость воды может показаться недостатком при нагревании ее в бытовых целях, поскольку для нагрева воды до кипения требуется очень много тепла. Однако именно эта емкость делает грелки и нагрев горячей воды эффективными.

Если взять фунт льда при 0 ° C в одной посуде и фунт воды при 0 ° C. в другой и нагревает посуду со льдом на пламени Бунзена до тех пор, пока лед не растает, а затем нагревает воду в другой посуде в течение того же времени, пока вода не окажется *горячей* и не достигнет температуры 80 °C или 176 °F.

180. Теплота плавления льда.—Этот эксперимент указывает на большое количество тепла, необходимое для превращения льда в воду без изменения его температуры. Как показал эксперимент, требуется 80 калорий, чтобы растопить 1 г льда без изменения его температуры или, другими словами, если поместить 1 г льда при температуре 0 ° C в 1 г воды при температуре 80 ° C, лед растает, а вода охладится до 0 ° C.

181. Тепло, выделяемое при замораживании воды.—Точно так же, как для растопления 1 г льда требуется 80 калорий тепла, при замораживании 1 г воды выделяется 80 калорий тепла.

Тот факт, что при затвердевании жидкости выделяется тепло, может быть наглядно продемонстрирован приготовлением крепкого раствора ацетата натрия. Если дать ему немного остыть, он нагреется до комнатной температуры и останется жидким. Если теперь опустить в жидкость небольшой кристалл ацетата натрия, то последняя быстро превратится в твердую массу кристаллов, при этом температура заметно повысится. Количество выделившегося тепла должно поступить в ацетат натрия, когда масса кристаллов снова расплавится.

Медленное образование льда объясняется большим количеством тепла, которое должно быть выделено до того, как вода замерзнет. Это также причина, по которой температура никогда не опускается так низко вблизи крупных озер, как далеко вглубь страны, где тепло, выделяемое замерзающей водой, согревает окружающий воздух.

Тепло, которое исчезает при плавлении и вновь появляется при затвердевании, называется *теплотой плавления*. Это иногда называют *скрытым теплом*, поскольку кажется, что тепло становится скрытым или латентным. В настоящее время считается, что тепловая энергия, которая исчезает при плавлении тела, была преобразована в *потенциальную энергию* частично разделенных молекул. Таким образом, теплота плавления представляет собой

работу, проделанную при превращении твердого вещества в жидкость без изменения температуры.

182. Плавление кристаллических и аморфных веществ.—Если кусочек льда положить в кипящую воду, а затем вынуть, температура нетаявшего льда по-прежнему будет равна 0 °С. Не существует известных способов нагревания льда при атмосферном давлении выше точки его плавления и поддержания его твердого состояния. Лед, состоящий из кристаллов льда, называется кристаллическим телом. Все кристаллические вещества имеют фиксированную температуру плавления. Например, лед всегда тает при 0 ° С. Ниже приведены температуры плавления некоторых распространенных кристаллических веществ:

Температуры плавления некоторых кристаллических веществ

1. Алюминий	658 °С.
2. Чугун	1200 °С.
3. Медь	1083 °С.
4. Лед	0 °С.
5. Свинец	327 °С.
6. Ртуть	-39°С.
7. Фенол (карболовая кислота)	43 °С.
8. Платина	1755 °С.
9. Соль (хлорид натрия)	795°С.
10. Селитра (нитрат калия)	340°С.
11. Серебро	961 °С.
12 . Гипосульфит натрия (hypo)	47 ° С.
13. Цинк	419 ° С.

Некристаллические или аморфные вещества, такие как стекло, смола, клей и т.д., не имеют четко определенных температур плавления, как кристаллические тела. При нагревании они постепенно размягчаются и становятся текучими. По этой причине стекло можно прессовывать и формовать.

183. Изменение объема при затвердевании.—Тот факт, что лед плавает и разбивает бутылки и трубы, в которых он замерзает, показывает, что вода расширяется при замерзании. Как вещество может занимать больше места в твердом состоянии, чем в жидком, можно понять, когда мы узнаем, что лед состоит из массы кристаллов звездообразной формы. (См. рис. 151.) При образовании этих кристаллов во льду должны оставаться незанятые промежутки между ними. Однако при разжижении промежутков не остается, и вещество занимает меньший объем. Большинство веществ сжимаются при затвердевании. Однако сурьма и висмут при затвердевании расширяются, в то время как железо мало изменяется в объеме. Только те тела, которые расширяются или же

демонстрируют незначительное изменение объема при затвердевании, могут давать острые отливки, поскольку при сжатии они не будут полностью заполнять форму. По этой причине золотые и серебряные монеты должны чеканиться, а не отливаться. Типовой металл, сплав сурьмы и свинца, при затвердевании расширяется, образуя четкие очертания хорошего типа. Следует отметить несколько важных эффектов расширения воды при замерзании. (а) Лед плавает, (б) если бы он затонул сразу после образования, озера и реки замерзли бы окончательно, (в) замерзающая вода является одним из активных агентов разрушения горных пород.

FIG. 151.—Ice crystals.

Рис. 151.—Кристаллы льда.

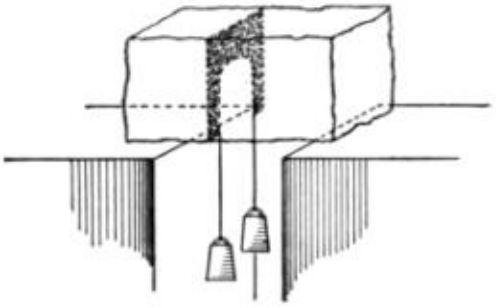


FIG. 152.—Melting ice by pressure.

Рис. 152.—Плавление льда под давлением.

Поскольку вода расширяется при замерзании, давление, оказываемое на сжатие льда при температуре 0 ° C, имеет тенденцию превращать его в воду. Давление действительно снижает температуру плавления льда, так что небольшое количество льда может растаять под воздействием давления. При снижении давления вода замерзает. Это можно продемонстрировать, надев петлю из тонкой фортепианной проволоки (см. рис. 152) на кусок льда, поддерживаемый таким образом, чтобы на проволоку можно было подвесить груз. Будет обнаружено, что проволока постепенно прорезает лед, а растаявший лед снова замерзает над проволокой.

Важные темы

1. Удельная теплоемкость.
2. Теплота плавления льда.
3. Кристаллические вещества имеют фиксированную температуру плавления.
4. Расширение при замораживании, важность.

Упражнения

1. Каковы два преимущества высокой температуры плавления льда?

2. Каковы два преимущества расширения воды при замерзании?

3. Сколько тепла потребуется, чтобы растопить 1000 г льда и подогреть воду до 20°С.?

4. Сколько граммов льда при 0°С. можно растопить 400 граммами воды при температуре 55°С.?

5. Каковы два преимущества высокой удельной теплоемкости воды? Два недостатка?

6. Если удельная теплоемкость железа равна 0,1125, то сколько льда при 0°С. можно ли расплавить 200-граммовый чугунный шар, нагретый до 300 °С?

7. Какова температура горячего железного шарика весом 80 г., если его поместить на кусок льда при температуре 0°С. это растопит 90 г льда?

8. Если 500 г меди при температуре 400°С. поместить в 3000 г воды при температуре 10°С. какой будет результирующая температура?

9. Какой вес воды при температуре 90 ° С. просто растопит 10 кг. льда при 0°С.?

10. Если на короткое время прижать друг к другу гладкую сухую поверхность двух кусочков льда, они превратятся в одно целое. Объясните.

11. Ванны с горячей водой иногда ставят в овощехранилища, чтобы овощи не замерзли. Объясните.

12. Сколько Б.т.у. выдается, когда замерзает 2 фунта воды?

(2) Нагревание и изменение состояния

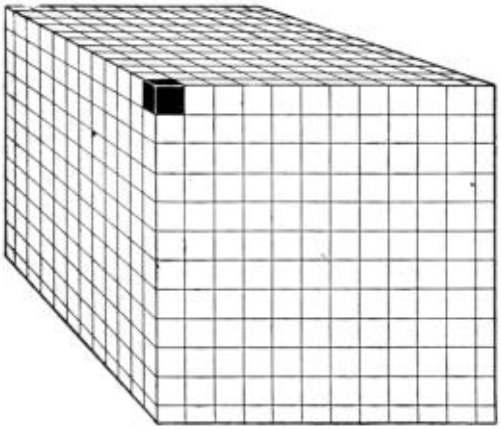


Fig. 153. –The black cube in the upper corner represents one cubic inch of water. The entire cube represents the space occupied by the cubic inch of water in the form of steam. The reduced spaces at the bottom and sides show how much short the cube is of being one cubic foot. (American Radiator Co.)

Рис. 153.—Черный куб в верхнем углу обозначает один кубический дюйм воды. Весь куб представляет собой пространство, занимаемое кубическим дюймом воды в форме пара. Уменьшенные пространства внизу и по бокам показывают, насколько куб короче одного кубического фута. (American Radiator Co.)

184. Теплота испарения.—В нашем исследовании испарения в статье 174 мы рассмотрели, что более быстро движущиеся или вибрирующие молекулы в жидкости улетучиваются в воздух над ними и что более медленно движущиеся молекулы остаются в жидкости; это означает, что при испарении произойдет потеря тепла, а оставшаяся жидкость по мере

продолжения процесса становится холоднее. Теперь точно так же, как мяч, подброшенный в воздух, теряет свою кинетическую энергию при подъеме и приобретает энергию положения или потенциальную энергию, так и молекулы, выходящие из жидкости, теряют определенное количество кинетической энергии или тепла и приобретают соответствующее количество *энергии положения* или потенциальной энергии. *И наоборот*, когда мяч возвращается на землю, его потенциальная энергия преобразуется в кинетическую. Аналогично, когда молекулы пара возвращаются в жидкое состояние, они теряют энергию своего положения и приобретают кинетическую энергию. Другими словами, когда жидкость испаряется, определенное количество тепла исчезает или становится *скрытым*, а когда пар конденсируется, тепло появляется снова или становится *ощутимым* теплом. *Количество тепла, которое исчезает при испарении 1 г вещества, называется теплотой испарения.* В случае воды с температурой кипения 536 калорий тепла исчезают, когда 1 г воды превращается в пар, и такое же количество тепла появляется снова, когда пар конденсируется.

Изменение объема воды при превращении в пар показано на рис. 153.

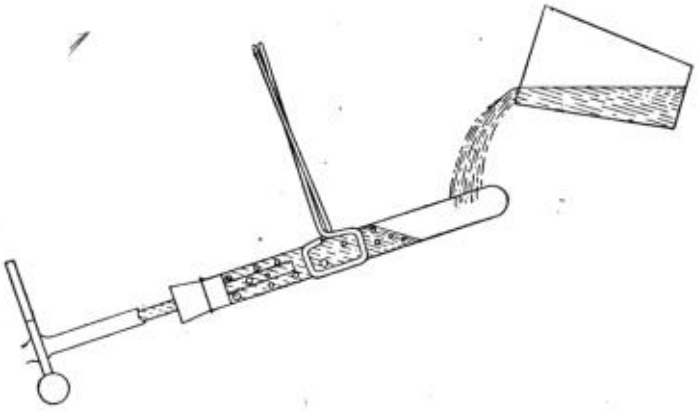


Fig. 154.—Effect of pressure on the boiling point.

Рис. 154.— Влияние давления на температуру кипения.

185. Температура кипения.—Температура кипения зависит от давления. Точка кипения может быть определена как *температура, при которой внутри жидкости образуются пузырьки пара*. Эти пузырьки увеличивают поверхность, на которой может происходить испарение жидкости, и основная причина, по которой быстрое нагревание жидкости не повышает ее температуру выше точки кипения, заключается в том, что по мере приложения большего количества тепла образуется больше пузырьков, так что увеличение поверхности испарения обеспечивает соответственно большую поверхность для охлаждения. Изменение температуры кипения при изменении давления можно показать, частично заполнив водой прочную пробирку диаметром 7/8 дюйма. Закройте горлышко резиновой пробкой с одним отверстием, через которое проходит стеклянная трубка, к которой прикреплена мягкая резиновая трубка. (См. рис. 154.) Придерживая пробирку держателем, нагрейте воду и кипятите до тех пор, пока из пробирки не выйдет весь воздух, затем закройте мягкую резиновую пробирку прижимным краном и удерживайте пробирку в перевернутом положении. При охлаждении конца трубки над водой холодной водой или снегом пар внутри конденсируется и давление на воду снижается. Сразу начинается интенсивное кипячение. Путем многократной конденсации пара воду можно довести до кипения при комнатной температуре. На вершине горы Блан вода кипит при 84 ° С. В то время как в паровых котлах при 225 фунтах. при давлении на квадратный дюйм температура кипения составляет почти 200 ° С.

186. Законы кипячения.—Экспериментами было установлено, что следующие утверждения верны.

1. Каждая жидкость имеет свою собственную точку *кипения*которая при одинаковых условиях *давления* всегда одинакова.

2. Температура кипящей жидкости остается на уровне точки кипения до тех пор, пока вся жидкость не превратится в пар.

3. Температура кипения повышается при повышении давления и падает при снижении давления.

4. Кипящая жидкость и образующийся из нее пар имеют одинаковую температуру. При охлаждении пар превращается в жидкость при температуре кипения.

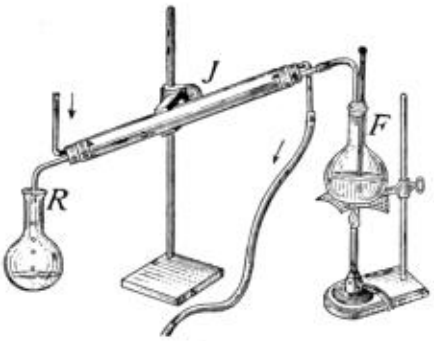


FIG. 155.—Distilling apparatus.

Рис. 155.—Дистилляционный аппарат.

5. Раствор твердых веществ в жидкости повышает ее температуру кипения, при этом требуется дополнительная энергия для преодоления адгезии, присущей раствору. На температуру кипения также влияет характер сосуда, в котором находится жидкость. В стекле температура кипения составляет 101 °.

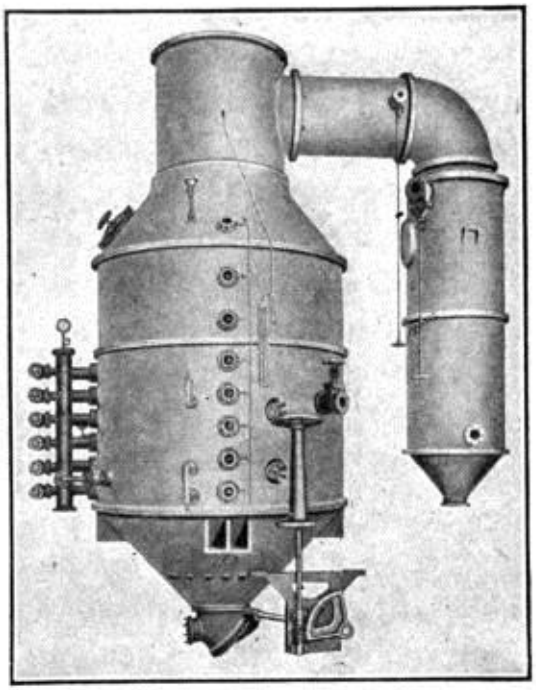


FIG. 156.—A vacuum pan.

Рис. 156.—Вакуумный поддон.

187. Дистилляция воды.—Обычно, когда твердые вещества растворяются в жидкостях, пар, выходящий из жидкости, не содержит ни одного растворенного твердого вещества. Таким образом, путем выпаривания соленой морской воды, сбора и конденсации пара получается чистая вода. *Дистилляция* - это процесс кипячения жидкости и конденсации образовавшегося пара обратно в жидкость. (См. рис. 155.) Перегоняемую жидкость помещают в сосуд *F* и кипятят. Пар подается в трубку *J*, которая окружена трубкой большего размера, содержащей холодную воду. Пар конденсируется на холодных стенках трубки. Полученную жидкость собирают в сосуд *R*. Дистилляция используется для двух целей: (a) для удаления примесей из жидкости (таким образом очищается вода). (b) Смеси различных жидкостей с разными температурами кипения могут быть разделены дистилляцией. Жидкость с более низкой температурой кипения будет испаряться первой. Таким образом, смесь спирта и воды при дистилляции дает дистиллят с гораздо большим процентным

содержанием спирта, чем вначале. Повторение этого процесса, который называется *фракционной дистилляцией*, позволяет получить спирт повышенной крепости и чистоты. Дистиллированные спиртные напитки, такие как алкоголь, бренди и виски, производятся путем перегонки ферментированного ликера, при этом спирт получают из ферментированных зерен. Бензин и керосин получают из сырой нефти. Иногда, как при производстве сахара или сгущенного молока, целью является удаление воды путем выпаривания с получением твердого материала. Поскольку два названных вещества повреждаются при нагревании, сироп или молоко выпаривают при пониженном давлении в *вакуумной камере*, то есть в котле, из которого воздух и пар удаляются воздушным насосом. (См. рис. 156.)

188. Искусственное охлаждение.— Был выявлен факт, что при плавлении твердого вещества поглощается или исчезает определенное количество тепла, называемое теплотой плавления. Это поглощение тепла также наблюдается, когда твердое вещество разжижается путем растворения его в жидкости, а также когда оно разжижается простым подачей тепла. Таким образом, если немного поваренной соли положить в стакан с водой, температура раствора будет снижена на несколько градусов ниже температуры используемой соли и воды. Разжижение или растворение соли сопровождалось поглощением или исчезновением тепла. Это тепло было отобрано у соли и у воды, что привело к снижению температуры. Аммиачный спирт или нитрат аммония, растворенные в воде, оказывают гораздо более выраженный охлаждающий эффект, чем поваренная соль. Растворение кристалла в жидкости чем-то похоже на испарение, за исключением того, что молекулы жидкости притягивают молекулы твердого вещества и таким образом способствуют изменению состояния.

189. Замораживающие смеси.—Если попытаться заморозить раствор соли и воды, лед не образуется при 0 ° С. но на несколько градусов ниже. Образовавшийся лед, однако, чистый. Очевидно, притяжение молекул соли к молекулам воды предотвращало образование льда до тех пор, пока движение молекул воды не было уменьшено больше, чем это необходимо в чистой воде. Поскольку температура замерзающей воды равна температуре тающего льда, лед в солевом растворе тает при более низкой температуре, чем в чистой воде. В насыщенном солевом растворе эта температура составляет -22 °С.Именно по этой причине смесь льда и соли, используемая для замораживания сливок, так эффективна, поскольку соленая вода способствует таянию льда, охлаждаясь до температуры на много градусов ниже точки замерзания сливок. Наилучшая пропорция для замораживания смеси соли и льда - одна часть соли на три части мелко измельченного льда.

190. Охлаждение путем испарения.—Сильный холод достигается также за счет быстрого испарения жидкостей под давлением. Углекислый газ под высоким давлением представляет собой жидкость, но при попадании в воздух испаряется так быстро, что часть жидкости замораживается в твердый углекислый газ, температура которого составляет -80 ° С. Испарение жидкого аммиака путем выхода его в трубу под пониженным давлением широко используется в качестве средства получения холода в холодильных камерах и рефрижераторных установках. (См. рис. 157.)

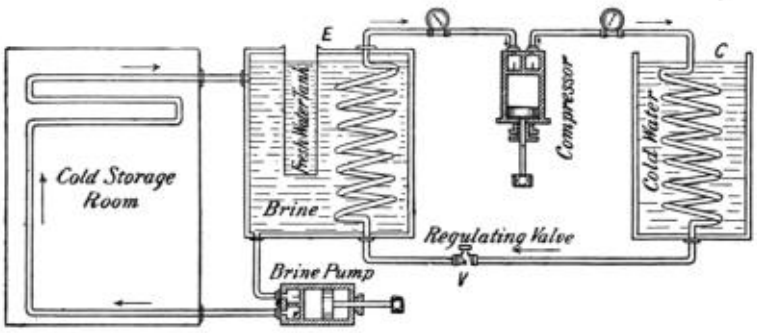


FIG. 157.—Diagram of a refrigerating system.

Рис. 157.—Схема холодильной системы.

Основные части холодильной системы, использующие аммиак, представлены на рис. 157. *Компрессор* выпускает газообразный аммиак из спиральной трубы в "*E*" и сжимает газ в "*C*", где под давлением 150 фунтов и охлаждающим действием воды он конденсируется до жидкого аммиака. Ему позволяют медленно проходить через регулирующий клапан, после чего он испаряется и расширяется в длинной спиральной трубе в положении "*E*" на обратном пути в компрессор. Это испарение и расширение приводит к поглощению большого количества тепла из рассола, охлаждая его ниже точки замерзания чистой воды и, таким образом, позволяя замораживать банки с водой, взвешенной в рассоле. Охлажденный рассол также может направляться по трубам для охлаждения складских помещений, содержащих мясо или другие пищевые продукты. Аммиак поглощает тепло при испарении и отдает его при сжатии и разжижении.

Важные темы

1. Теплота испарения воды 536 калорий на грамм.

2. Температура кипения, влияние давления на температуру кипения, законы кипения.

3. Дистилляция, искусственное охлаждение, замораживание смесей, охлаждение выпариванием.

Упражнения

1. Сколько тепла требуется (а) для растопления 1 г льда при 0 °C, (б) для повышения температуры полученной воды до 100 °C, (в) для превращения этой воды в пар?

2. Если вода, выходящая из парового радиатора, такая же горячая, как и пар, как обогревается помещение?

3. Каков эффект от посыпки солью обледеневших тротуаров в холодную погоду?

4. Является ли дождевая вода дистиллированной водой? Она идеально чистая?

5. Каковы два преимущества высокой теплоты испарения воды?

6. Если нагреть 1 г. пара при температуре 100 ° С. при замене на воду и охлаждении до 0 ° С. можно использовать при плавлении льда при 0°С. сколько льда будет растоплено?

(3) НАГРЕВ И РАБОТА

191. Потребность в тепловой энергии.—С древних времен человек был способен преобразовывать движение в тепло и использовал эту способность во многих направлениях,

например, для разжигания огня и согревания себя трением. Однако человеку потребовалось много веков, чтобы изобрести эффективную машину для преобразования тепла в механическую энергию или использования ее при выполнении работы.

The *Власть* человека невелика, и до тех пор, пока работа в мире должна была выполняться человеческой силой, прогресс тормозился. Когда человек начал использовать вьючных животных, он сделал большой шаг вперед, поскольку тогда один человек мог использовать и направлять силу многих людей в животных, которыми он управлял. Человек также строил водяные колеса и ветряные мельницы, таким образом получая энергию непосредственно от сил природы, и это значительно повышало его работоспособность. Но он сделал величайший шаг в обретении контроля над окружающим миром, когда научился использовать тепловую энергию и приводить ее в движение свои машины.

192. Тепловые двигатели.— В настоящее время используется большое разнообразие *тепловых двигателей*, таких как *пар*, *горячий воздух*, *газ* и *бензиновые* двигатели, все они используют *тепловую энергию* для создания движения. Расширяющая способность пара в замкнутом пространстве наблюдалась в течение сотен лет, и было изобретено много различных машин, чтобы использовать его при выполнении работы.

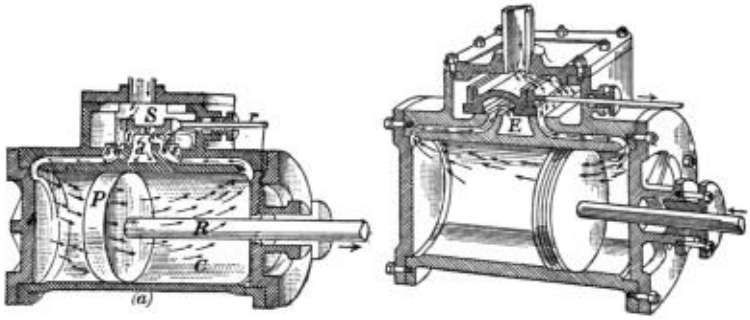


Fig. 158.—Cross-section view of cylinder and steam chest of a steam engine.

Fig. 159.—The steam drives the piston to the left.

Рис. 158.— Вид в поперечном сечении цилиндра и паровой камеры паровой машины.
Рис. 159.— Пар перемещает поршень влево.

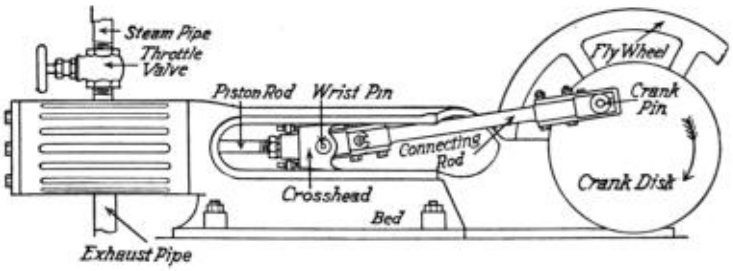


Fig. 160.—External view of steam engine.

Рис. 160.—Внешний вид паровой машины.

193. Паровая машина.—Человеком, который усовершенствовал паровую машину и изобрел ее современную форму, был *Джеймс Уатт* (1736-1819). Основные части и принцип действия паровой машины можно легко понять, изучив схему. На рис. 158, *S* обозначает *паровую камеру*, *C* для *цилиндра*, *P* для *поршня* и *v* для *золотникового клапана*. Первые два представляют собой полые железные ящики, последние представляют собой детали, которые скользят внутри них взад-вперед. Действие паровой машины заключается в следующем: пар под давлением поступает в паровую камеру, проходит в цилиндр и толкает поршень к другому концу. Золотниковый клапан перемещается в положение, показанное на

рис. 159. Теперь пар поступает в правый конец цилиндра, перемещая поршень влево, при этом "мертвый" пар в левом конце цилиндра выходит при *E* в воздух. Теперь золотниковый клапан перемещается в исходное положение, и процесс повторяется. Учащемуся будет легче понять это действие, если он сделает картонную модель этих деталей, при этом поршень и золотниковый клапан будут подвижными. В практических паровых двигателях шток поршня прикреплен к *шатуну,* прикрепленному к кривошипу, который вращает колесо. (См. рис. 160.) Возвратно-поступательное, или *возвратно-поступательное* движение поршня таким образом преобразуется во *вращательное* движение, подобно тому, как в швейной машине возвратно-поступательное движение педали приводит во вращательное движение большое колесо. На валу паровой машины закреплен *эксцентрик* (см. рис. 163), который перемещает золотниковый клапан. Паровой двигатель работает непрерывно до тех пор, пока в него подается пар. Поскольку он автоматически перемещает положение золотникового клапана, его называют автоматическим паровым двигателем. А поскольку команда приводит поршень в движение в обоих направлениях, его называют *паровой машиной*двойного действия. Продольный разрез современного локомотива приведен на рис. 161.

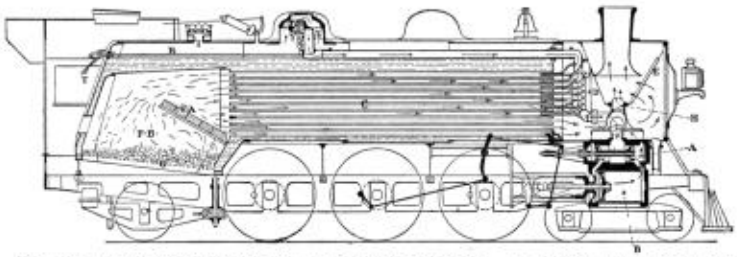


Fig. 161.—Length-section of modern, fast-passenger locomotive. *A*, cylinder valve—piston type valve; *B*, cylinder—piston at out end of stroke; *C*, boiler tubes—flues from fire-box; *D*, fire-tube type superheater; *E*, draught screen; *F-A*, fire-brick arch to protect tubes from direct heat; *F-B*, firebox; *G*, grate; *H*, exhaust nozzle; *I*, safety valve nest; *T*, throttle lever; *R*, throttle rod; *Y*, throttle valve.

Рис. 161.—Продольный разрез современного скоростного пассажирского локомотива. *A*, клапан цилиндра—клапан поршневого типа; *B*, цилиндр—поршень в конце хода; *C*, трубы котла—дымоходы из топки; *D*, пароперегреватель жаротрубного типа; *E*, вытяжной экран; *F-A*, свод из огнеупорного кирпича для защиты труб от прямого нагрева; *F-B*, топка; *G*, решетка; *H*, выпускной патрубок; *I*, гнездо предохранительного клапана; *T*, рычаг дроссельной заслонки; *R*, шток дроссельной заслонки; *Y*, дроссельный клапан.

194. Механический эквивалент тепла.Наблюдая за тем, как рабочие проделывают отверстия в пушках, граф Румфорд, 1753-1814, с большим интересом заметил большое количество тепла, выделяемого при этом. Он заметил, что выделяющееся тепло, по-видимому, имело какое-то отношение к работе, проделываемой дрелью при растачивании отверстий. Более поздние эксперименты, проведенные многими людьми, показали, что существует определенная связь между теплом, выделяемым при трении, и количеством работы, проделываемой при преодолении трения. Это открытие указывает на то, что тепло каким-то образом связано с энергией и что тепло, вероятно, является одной из форм энергии. Более поздние эксперименты подтвердили эту идею, и теперь считается хорошо установленным, что *тепло - это форма энергии*. Было предпринято много попыток обнаружить связь между единицами тепловой энергии и единицами механической энергии. Чтобы проиллюстрировать один из используемых методов, предположим, что кто-то измеряет данную *длину* в дюймах и сантиметрах; разделив один результат на другой, будет обнаружено, что между двумя наборами измерений существует определенная связь, и что в каждом случае это 1 дюйм. равен 2,54 см. Аналогично, когда одинаковое количество *энергии*

измеряется как в единицах тепла, так и в рабочих единицах, между используемыми единицами всегда находится постоянное соотношение. *Установлено, что один Б.Т.У. эквивалентен 778 футам-фунтам. 1 калория эквивалентна 42 700 г / см (427 г. м.).* Это соотношение называется *механическим эквивалентом тепла*, или, другими словами, оно представляет количество рабочих единиц, эквивалентных одной тепловой единице.

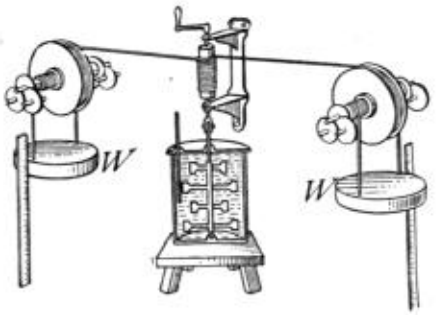


FIG. 162.—Apparatus for determining the mechanical equivalent of heat.

РИС. 162.—Устройство для определения механического эквивалента тепла.

DR. WILLIAM GILBERT
(Popular Science Monthly)

Уильям Гилберт (1540-1603), "Отец философии магнетизма". Особенно известен своими экспериментами и открытиями в области магнетизма; первым использовал слово "электричество". Первый человек, сделавший практический упор на экспериментальную науку.

ДОКТОР УИЛЬЯМ ГИЛБЕРТ
(Ежемесячник популярных наук)

JAMES PRESCOTT JOULE
(Popular Science Monthly)

Джеймс Прескотт Джоуль (1818-1889), Англия, определил механический эквивалент тепла; открыл связь между электрическим током и производимым теплом; впервые экспериментально доказал идентичность различных форм энергии.

ДЖЕЙМС ПРЕСКОТТ ДЖОУЛЬ
(Научно-популярный ежемесячник)

Один из первых успешных экспериментов по определению соотношения между единицами работы и единицами тепла был проведен Джоулем в Англии. (См. Портрет, стр. 217.) Эксперимент состоял в том, что была взята металлическая банка с водой (рис. 162), в которую были помещены термометр и стержень с лопастями. Стержень вращался с помощью шнура, подсоединенного через соответствующее устройство к тяжелым грузам, *W* и *W*. Энергия, представленная нисходящим движением грузов на заданное расстояние, сравнивалась с тепловой энергией, выделяемой в воде, о чем свидетельствует повышение ее температуры. Тщательные эксперименты показали, что при выполнении движущимися грузами работы в 778 футов-фунтов выделяемое при этом тепло согрело бы один фунт воды на 1 градус по Фаренгейту. Если бы эксперимент проводился с использованием метрических единиц, было обнаружено, что расход 42 700 грамм сантиметров (427 грамм метров) привел бы к выделению достаточного количества тепла, чтобы нагреть один грамм воды на один градус Цельсия. Только что приведенные факты можно резюмировать следующим образом: *778 фут-фунтов энергии эквивалентны 1 британской тепловой единице, а 42 700 грамм-сантиметров, или 427 грамм-метров, энергии эквивалентны 1 калорие*. Такое отношение единиц работы к единицам тепла называется *механическим эквивалентом тепла*.

195. Тепловой эквивалент топлив и испытания эффективности двигателей.—Чтобы определить эффективность паровой машины, необходимо знать не только механический эквивалент тепла, но и тепло, вырабатываемое при сжигании угля или газа; 1 фунт среднего мягкого угля должен производить около 12 600 баррелей в сутки, начиная с 778 фут-фунтов. эквивалентны одному б.т.у.е. энергия, вырабатываемая при сжигании 2 фунтов. среднее количество мягкого угля составляет 778 × 12 600 × 2 = 19 605 600 фут-фунтов. На практике 2 фунта. при сжигании среднего количества мягкого угля вырабатывается около 1 лошадиной силы в течение 1 часа. 1 лошадиная сила в час = 33 000 футов-фунтов. × 60 = 1,980,000 футов-фунтов. Теперь эффективность равна (отработка) / (работа в) 1,980,000/19,605,600 = 1/10

или 10 процентов.. Это эффективность хороший паровой двигатель. Обычные требуется 3 кг. сжигаемого угля в каждой лошадиной силы-час произведенной энергии или они есть, но 2/3 столь же эффективным или есть но около 7 процентов. эффективность.

Теплота сгорания различных видов топлива

Данные в этой таблице взяты из Бюллетеня Геологической службы США № 332 и Горного бюро США № 23.

	BT.U. на фунт.	Калории на грамм
Спирт денатурированный	11 600	6450
Уголь, антрацит, в среднем	12 600	7500
Уголь каменный, в среднем	19 000	7,000
Бензин	19 000	10 550
Осветительный газ	18 000	10 000
Керосин	19 990	11 050

Константы теплопередачи

Данные от компании "Ideal Fitter", American Radiator Co.

Биотопливо, передаваемое на квадратный фут в час в расчете на градус (по Фаренгейту) разницы температур между внутренним и наружным воздухом.

Кирпичная кладка

толщиной	4	дюйма	=	0,68
толщиной	8	дюймов	=	0,46
толщиной	12	дюймов	=	0,33

50% цемента в бетоне. больше, чем кирпич. камень составляет 33-1/3%. больше, чем кирпич.

Окно	=	1,090
Дерево в качестве стены	=	0,220
Двойное окно	=	0,560

бетон укреплен на 20%. больше, чем кирпич.

Важные темы

1. Тепло - проявление энергии.

2. Паровая машина и ее действие.

3. Механический эквивалент тепла и тепловой эквивалент топлива и КПД двигателей.

Упражнения

1. Постройте действующую модель цилиндра и паровой камеры паровой машины и будьте готовы объяснить ее действие.

2. Сколько БТУ должно быть произведено при цене 5,00 долларов за тонну из 1 цента каменного угля?

3. Попробуйте провести следующий эксперимент: налейте литр воды в чайник и поставьте его на огонь на 5 минут, при этом обратите внимание на повышение температуры и подсчитайте количество Б.Т.У., попадающего в воду. Налейте еще литр воды той же температуры в алюминиевую или жестяную посуду и нагревайте в течение 5 минут, отметьте повышение температуры и подсчитайте количество использованного тепла. Какое из блюд обладает большей эффективностью? Как сравнивается эффективность двух блюд? Как вы объясняете какие-либо различия в обнаруженной эффективности?

4. На какую высоту можно было бы поднять 8 кубических футов воды, если бы для ее подъема была использована вся энергия, получаемая при сжигании 1 фунта угля?

5. Каков механический эквивалент фунта угля, выраженный в лошадиных силах-часах?

6. Если печь сжигает 100 фунтов угля в день, а ее КПД составляет 50%. сколько Б.Т.У. используется для утепления дома?

7. Сколько Б.Т.У. можно получить, сжигая 1/2 тонны каменного угля?

8. когда фунт воды нагревается с 40 ° F до 212 ° F. Сколько фут-фунтов энергии поглощается водой?

9. Сколько партий угля, каждая весом по 2 тонны, можно было бы поднять на 12 футов за счет энергии, вложенной в воду в задаче 8?

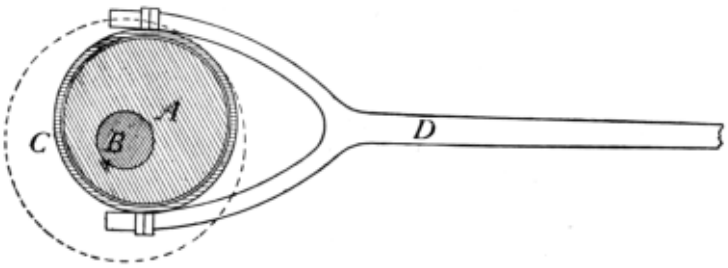


Fig. 163.—An eccentric.

Рис. 163.—Эксцентрик.

10. Когда для приготовления горячей ванны используется 3 кубических фута воды и вода нагревается с 50 ° по Фаренгейту до 112 ° По Фаренгейту, сколько B.T.U. было поглощено водой?

11. Если средняя температура воды на поверхности озера Мичиган составляет 50 ° F. Сколько B.T.U. будет выделяться каждым кубическим футом воды на поверхности, если температура воды упадет на 5 ° F.?

12. В холодильных установках используется газообразный диоксид углерода. Труба, ведущая от компрессионного насоса к расширительному клапану, проходит через резервуар для конденсации холодной воды. Почему?

13. Когда газ сжимается в холодильной установке, что происходит с энергией, используемой компрессионным насосом?

14. Эксцентрик (рис. 163) представляет собой круглый диск, установленный немного сбоку от своего центра, *A*, на валу двигателя *B*. Полоса *C* по окружности диска соединена стержнем *D*с золотниковым клапаном в паровой камере. Как вращательное движение вала преобразуется в возвратно-поступательное движение золотника?

(4) Тепловые двигатели

196. Газовый двигатель.—Одним из широко используемых сегодня тепловых двигателей является бензиновый двигатель. Он используется для приведения в движение автомобилей и моторных лодок, для привода механизмов и т.д. Конструкцию и действие бензинового двигателя можно понять, изучив действующую модель или соответствующие диаграммы.

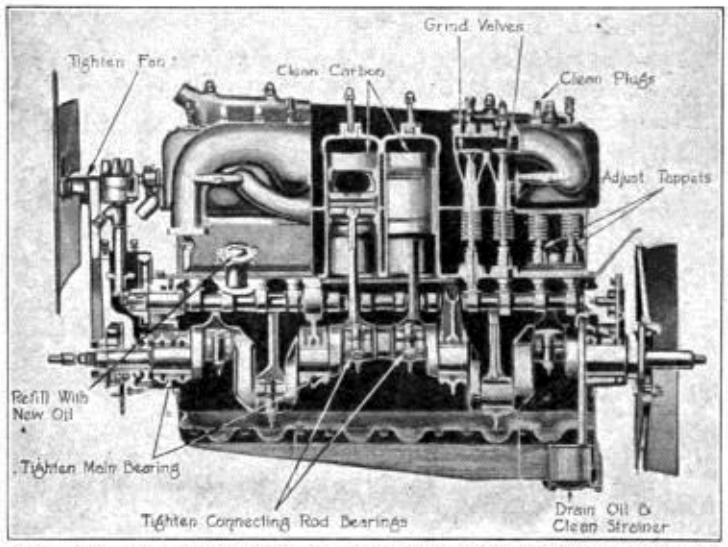


Fig. 164—Cut away view of a modern automobile engine, with parts requiring attention most frequently, indicated. (Courtesy of the "Automobile Journal.")

Рис. 164.— Вид современного автомобильного двигателя в разрезе, с указанием деталей, наиболее часто требующих внимания. (Любезно предоставлено "Автомобильным журналом")

Обычный бензиновый или газовый двигатель называется четырехтактным (лучше четырехкомпонентным) двигателем (см. рис. 164), поскольку для завершения одного цикла или серии замен требуется четыре движения поршня. Это проиллюстрировано на рис. 165 **1**, который представляет поперечное сечение *цилиндра* бензинового двигателя с *поршнем*, перемещающимся вниз. На верхнем конце цилиндра расположены два *отверстия*. Одно из них, *выпускное* отверстие, закрыто, *впускное* отверстие открыто, и поступает смесь газа и воздуха. На рис. 165 **2** показан возвращающийся поршень; оба отверстия закрыты, и "заряд" воздуха и газа сжимается. Когда поршень достигает конца своего хода при сжатии заряда, электрическая искра взрывается или "поджигает" заряд газа и воздуха. Горячий горящий газ внезапно расширяется, толкая поршень вниз с большой силой (рис. 165 **3**). Шток поршня прикреплен к рукоятке тяжелого маховика, и ему придается достаточная энергия или

импульс, чтобы поддерживать его в течение следующих трех ходов. На рис. 165 **4** изображен возвратный поршень, выталкивающий сгоревший "заряд" через открытый выпускной клапан *e*. При следующем движении поршня вниз клапан *e* закрывается. Он открывается, и поступают новые порции газа и воздуха, и "цикл" повторяется.

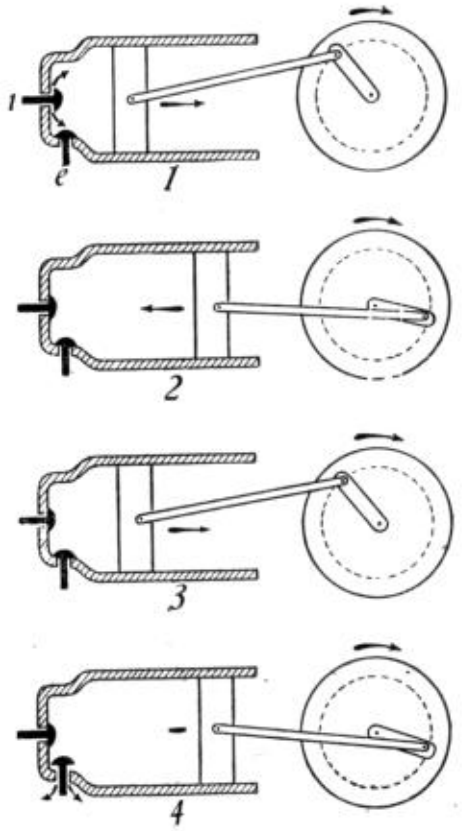


FIG. 165.—The four strokes of a gas engine cycle.

Рис. 165.— Четыре такта цикла газового двигателя.

Чтобы сделать движение более равномерным и непрерывным, а также обеспечить большую мощность, к одному и тому же валу и маховику прикреплено более одного цилиндра. Два, три, четыре, шесть, восемь и даже больше цилиндров были прикреплены к одному валу. Четыре или шесть цилиндров обычно используются в автомобильных бензиновых двигателях. Чтобы уменьшить звук "выхлопа", последний направляется через "глушитель", который часто снижает шум до низкой пульсации. (См. рис. 166.) Бензиновый двигатель более эффективен, чем паровой, поскольку топливо, газ, сжигается в цилиндре, а не в отдельной печи. Сгорание топлива в цилиндрах приводит к необходимости использования специального охлаждающего устройства для предотвращения их перегрева. Обычно оно состоит из кожуха, окружающего цилиндры. Между цилиндром и этим корпусом находится вода, которая при нагревании поступает в бак или радиатор. В радиаторе вода охлаждается, а затем возвращается в пространство между цилиндрами и корпусом, таким образом поддерживая циркуляцию.

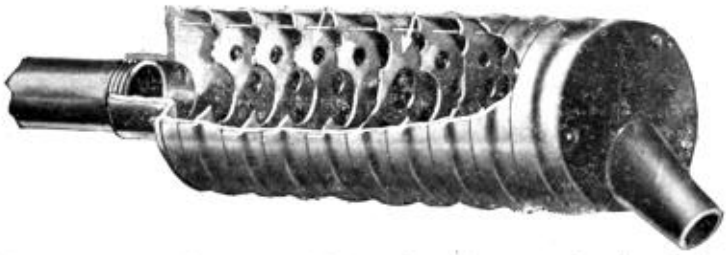


FIG. 166.—An efficient automobile muffler. (*Courtesy Popular Science Monthly.*)

Рис. 166.- Эффективный автомобильный глушитель. (*Любезно предоставлено научно-популярным ежемесячником.*)

197. Эффективность газовых двигателей.—Можно проверить *эффективность* газового двигателя, определив количество вырабатываемой мощности и сравнив ее с механическим эквивалентом сжигаемого топлива. Осветительный газ иногда используется для привода газовых двигателей. Один кубический фут осветительного газа при сгорании должен производить 600 л.с. энергии. КПД газовых или бензиновых двигателей иногда достигает 25%. Этот двигатель не дымит, а также компактен и быстро запускается. Хотя топливо, газ или бензин, несколько дороже, он легкий и его легко перевозить. Предположим, газовый двигатель выдает 1 лошадиную силу и потребляет 20 кубических футов газа в час, какова его эффективность? Мощность в 1 лошадиную силу в час = 550 × 60 × 60 = 1 980 000 футов-фунтов. 20 куб. футов газа = 20 × 600 × 778 = 9,336,000 футов-фунтов.

Эффективность = отработка /наработка = 1,980,000/9,336,000 = 21,2%.

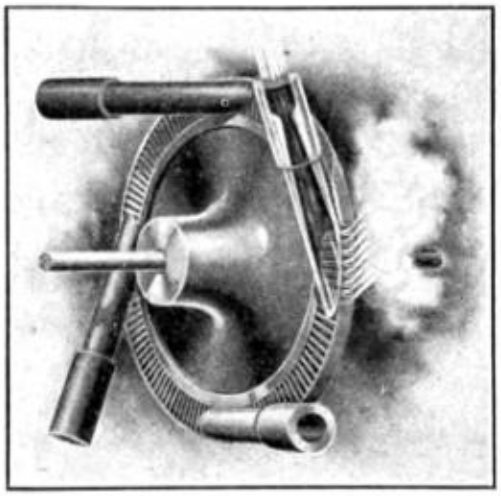


FIG. 167.—The principle of the steam turbine.

Рис. 167.—Принцип работы паровой турбины.

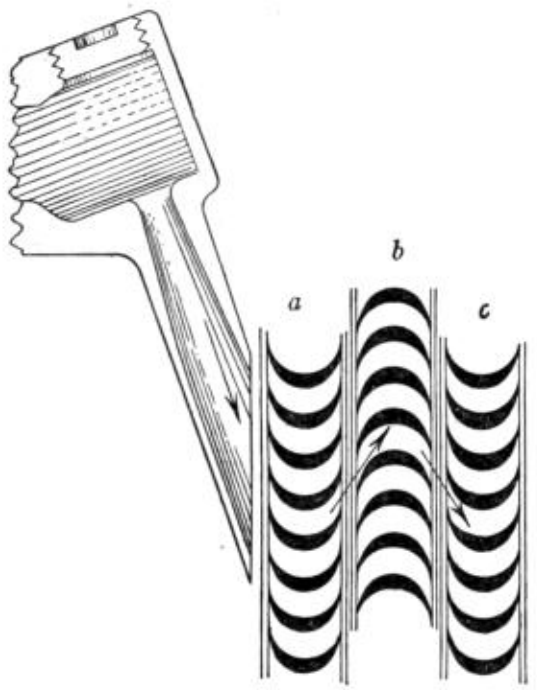


FIG. 168.—Path of steam in DeLaval steam turbine. (*a*) and (*c*) movable blades, (*b*) stationary.

Рис. 168.— Путь подачи пара в паровой турбине DeLaval. (*a*) и (*c*) подвижные лопасти, (*b*) неподвижные.

198. Паровая турбина. Одной из разновидностей паровой машины, которая входит во всеобщее употребление, является турбина. (См. рис. 167.) Он состоит из вала, к которому прикреплены лопасти, причем вал и лопасти находятся в закрытом корпусе. Пар поступает через форсунки и ударяется о лопасти, приводя их и вал в движение. Существуют также стационарные лопасти (см. рис. 168), которые помогают эффективно направлять пар на вращающиеся детали. Паровая турбина используется на крупных электростанциях. (См. рис. 293.) Он очень эффективен, производит очень мало вибрации и занимает примерно одну десятую площади пола, которую использует поршневой двигатель такой же мощности. Некоторые крупные океанские пароходы в настоящее время приводятся в движение паровыми турбинами.

Важные темы

1. Газовый двигатель, его конструкция, действие и экономичность.

2. Паровая турбина.

Упражнения

1. Если уголь стоит 4,00 доллара за тонну, а газ - 0,80 доллара за 1000 кубических футов, какое количество тепла можно получить за 1 цент каждого?

2. Сколько будет стоить нагреть 30 галлонов воды (1 галлон. вода весит около 8-1/3 фунта) при температуре от 40 ° F. до 190 ° F. с углем стоимостью 4,00 доллара за тонну и производительностью 12 000 б.Т. У.е. за фунт. если КПД нагревателя составляет 50 %.

3. Сколько будет стоить нагреть 30 галлонов воды с 40 ° F до 190 ° F. с газом по цене 0,80 доллара за 1000 кубических футов, если КПД отопительного устройства составляет 75 %.

4. Соорудите картонную рабочую модель, показывающую действие газового двигателя, и будьте готовы объяснить действие различных деталей.

5. Если 500 фунтов. масса железа должна упасть на 2000 футов. и вся полученная механическая кинетическая энергия должна быть преобразована в тепло, каково будет количество произведенного тепла?

6. Каковы особые преимущества (а) бензинового двигателя? (б) турбины? (в) паровой машины с возвратно-поступательным движением?

7. Вы дома на кухонной плите используете уголь или газ? Что для вас экономичнее? Почему?

8. Каковы преимущества использования плиты без использования огня?

9. Какова эффективность локомотива, который сжигает 3,2 фунта угля на лошадиную силу в час?

10. Газовый двигатель, разработанный в ходе испытаний, развивал 0,34 лошадиных силы в течение 1 минуты. и 50 секунд при расходовании 0,5 куб. футов газа. Теплота сгорания газа составляла 600 л.с. на кубический фут. Найдите КПД двигателя.

11. Найдите мощность двигателя в лошадиных силах, диаметр поршня 19 дюймов, ход поршня 26 дюймов; он использует пар при среднем давлении 200 фунтов. на квадрат. дюйм и делает 100 штрихов в минуту.

12. Какова эффективность двигателя и котла, которые развивают мощность 200 лошадиных сил при сжигании 390 фунтов мягкого угля в час?

13. Если КПД локомотива составляет 6%. и он развивает 1700 лошадиных сил, сколько угля сжигается за час?

14. Если автомобильный двигатель сжигает 1 галлон бензина в час и развивает 10 лошадиных сил, какова его эффективность?

15. ГИПЕРССЫЛКА A.L.A.M. формула для лошадиной силы составляет $(N B^2)/2{,}5$ при скорости поршня 1000 футов в минуту, где N - количество цилиндров, а B- их диаметр. Найдите лошадиную силу 4-цилиндрового двигателя с диаметром цилиндров 4 дюйма.

16. Найдите лошадиную силу 6-цилиндрового автомобильного двигателя, если диаметр цилиндра составляет 4,5 дюйма.

17. 4-цилиндровый автомобиль с 4-дюймовыми цилиндрами расходует 1 галлон бензина за 1 час. Найдите его эффективность, если его средняя развиваемая мощность равна 6 лошадиным силам.

18. Моторная лодка Disturber III имеет 24 цилиндра, каждый диаметром 3,5 дюйма. Если скорость поршня составляет 1000 футов в минуту, какова мощность двигателя? (См. задачу 15.)

План обзора: Жара

Тепло; источники (4), эффекты (5), единицы измерения (2).

Температура; шкалы термометра (3), абсолютная температура, 9°C/5 + 32° = F °.

Расширение; газы, Закон Чарльза ($V_1/V_2 = T_1/T_2$), жидкости, особенности воды, твердые вещества, коэффициент расширения, применение, результаты.

Теплопередача; электропроводность, использование хороших и плохих проводников, конвекция в природе, системы отопления и вентиляции, радиация, 3 особенности, величина солнечного излучения.

Тепло и влага; относительная влажность, точка росы, образование росы, тумана, дождя, снега и т.д., испарение, эффекты, условия.

Измерение теплоты; удельная теплоемкость, теплота плавления, испарения, сгорания.

Испарение; Температура кипения, законы кипячения, дистилляция, искусственное охлаждение.

Тепловые двигатели; пар, газ.—конструкция, действие, КПД, механический эквивалент тепла. Тепловой эквивалент топлива.

ГЛАВА IX

МАГНЕТИЗМ

(1) Общие свойства магнитов

199. Магниты.— Со времен ранних греческих философов людям было известно об определенных камнях, обладающих свойством притягивать к себе предметы из железа и стали. Такие камни называются *природными магнитами*. Многие считают, что название "магнит" происходит от названия магнезии в Малой Азии, где эти камни в изобилии, хотя это всего лишь традиция.

Также давно было известно, что предметы из железа и стали при натирании природными магнитами намагничиваются, то есть приобретают свойства магнитов. Говорят, что это *искусственные магниты*.

Fig. 169.—A bar magnet.

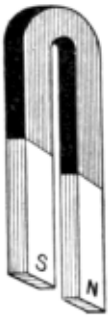


Fig. 170.—A horse-shoe magnet.

Рис. 169.—Стержневой магнит.
Рис. 170.—Подковообразный магнит.

Около 800 лет назад было обнаружено, что магниты, естественные или искусственные, подвешенные так, что они могут свободно вращаться, всегда останавливаются в определенном положении, направленном примерно на север или юг. Это особенно заметно, когда магнит длинный и узкий. Из-за этого свойства указывать направление естественным магнитам дали название *магнитопровод* (ведущий к жиле).

Искусственные магниты изготавливаются путем трения стальных стержней магнитом или путем помещения стального стержня в моток проволоки, по которому течет электрический ток. Намагниченные стальные стержни могут иметь любую форму, обычно они либо прямые, либо согнуты в форме буквы "U". Эти формы известны как *стержневые* и *подковообразные* магниты. (См. рис. 169 и 170.) Магниты лучше всего сохраняют свою прочность, когда снабжены "*держателями*из мягкого железа", как показано на рис. 171.

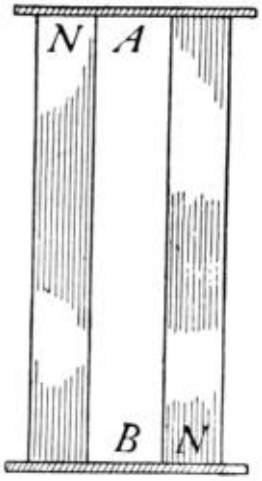


FIG. 171.—Bar magnets with keepers.

Рис. 170.— подковообразный магнит.Рис. 171.—стержневые магниты с фиксаторами.

200. Магнитные полюса.—Если магнит поместить в железные опилки и вынуть, то будет обнаружено, что опилки сильно прилипают в местах вблизи концов магнита, но на части его длины ближе к середине притяжения не обнаружено. (См. рис. 172.) Эти места наибольшего притяжения магнита называются *полюсами*. Если стержневой магнит подвешен так, чтобы свободно вращаться вокруг вертикальной оси, магнитный полюс на конце, направленном на север, называется *ориентированным на север* полюсом; на другом конце находится *ориентированный на юг* полюс. В большинстве мест стрелка указывает не на истинный север, а несколько восточнее или западнее севера. Направление, принимаемое магнитной стрелкой, параллельно *магнитному меридиану*.

FIG. 172.—Iron filings attracted to the poles of a magnet.

Рис. 172.—Железные опилки, притягиваемые к полюсам магнита.

201. Закон магнитного действия.—Обычно отмечается северный полюс магнита. Если держать в руке отмеченный стержневой магнит и поднести его полюс, направленный на север, к полюсу, направленному на север, свободно подвешенного стержневого магнита, будет обнаружено, что два полюса отталкиваются друг от друга, как и два полюса, направленных на юг, в то время как полюс, направленный на север, и полюс, направленный на юг, притягиваются друг к другу. (См. рис. 173.) Это действие приводит к утверждению *Закона магнитного действия*: *Похожие полюса отталкиваются, в то время как непохожие полюса притягиваются друг к другу.* Сила притяжения или отталкивания уменьшается с увеличением расстояния. *Сила взаимодействия между магнитными полюсами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.* Сравните это с законом всемирного тяготения (статья 88).

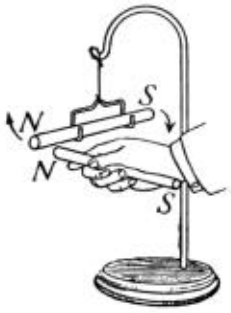


Fig. 173.—Like poles of two magnets repel.

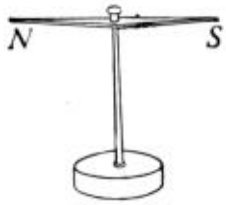


Fig. 174.—A magnetoscope.

Рис. 173.—Подобные полюса двух магнитов отталкиваются.
Рис. 174.—Магнитоскоп.

202. Магнитные вещества и свойства.—Обнаружено, что если железный или стальной магнит нагреть *докрасна*, то его магнитные свойства исчезают. Соответственно, один из методов *размагничивания* магнита заключается в том, чтобы раскалить его до красного цвета. Если магнит, который был нагрет докрасна, а затем охлажден, поднести к подвешенному стержневому магниту, обнаруживается, что он *притягивает любой из* концов, показывая, что он восстановил *магнитные свойства*, даже если он потерял свою *магнитную полярность*. Подвесной стержневой магнит, используемый для проверки магнитных свойств тела, называется *магнитоскопом*. (См. рис. 174.) Стрелка *магнитного компаса* очень хорошо служит в качестве магнитоскопа. Магнитные свойства наиболее сильно проявляются у железа и стали, хотя никель и кобальт проявляют некоторые магнитные эффекты. Существует особый сплав меди, алюминия и марганца, известный как *сплав Хойслера*, который также обладает магнитными свойствами. Однако из всех веществ железо и сталь проявляют самые сильные магнитные эффекты.

203. Магнитная индукция.—Пусть направленный на север полюс стержневого магнита поддерживает железный гвоздь за его головку. (См. рис. 175.) Проверьте полярность кончика гвоздя. Посмотрите, можно ли прикрепить второй гвоздь своей головкой к острию первого. Проверьте полярность кончика этого гвоздя. Определите на пробу, сколько гвоздей можно подвесить последовательно к магниту. Проверьте в каждом случае полярность. Осторожно снимите магнит с первого гвоздя — цепочка гвоздей развалится. Повторите тест с толщиной листа бумаги между магнитом и первым гвоздем. Будут получены результаты, аналогичные тем, которые были получены вначале, хотя, вероятно, будет поддерживаться меньшее количество гвоздей. Наличие бумаги между магнитом и гвоздями просто ослабляет действие. Проверьте действие магнита на ноготь, когда между ними находится кусочек стекла, большой палец, тонкие кусочки дерева, меди, цинка и т.д. *Намагничивание куска железа или стали магнитом вблизи или прикасаясь к нему, называется магнитной индукцией.* Это действие происходит через все вещества, за исключением больших кусков железа или стали, поэтому эти вещества часто используются в качестве *магнитных экранов*. Полюс нового *индуцированного магнита*, примыкающий к стержневому магниту, находится прямо напротив используемого полюса. Таким образом, N.-полюс используемого магнита создаст S.-полюс на ближайшем конце гвоздя и N.-полюс на дальнем конце. (См. рис. 175.) При извлечении магнита обнаруживается, что гвозди сохраняют часть своего индуцированного магнетизма.

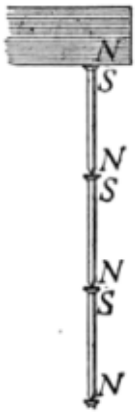


FIG. 175.—Nails magnetized by induction.

Рис. 175.— Гвозди, намагниченные индукционным методом.

204. Сохраняемость.—В нескольких предыдущих параграфах было замечено, что кусок железа или стали, однажды намагниченный, не полностью теряет свой магнетизм при снятии намагничивающей силы. Различные куски железа и стали сильно различаются в этом отношении, некоторые остаются сильно намагниченными, другие теряют большую часть своего магнетизма. *Это свойство сохранять магнетизм называется удерживаемостью.* Закаленная сталь обладает высокой степенью удержания, в то время как мягкое железо сохраняет лишь незначительный магнетизм.

Важные темы

1. Магнит; натуральный, искусственный, стержень, подкова.

2. Магнитные полюса; поиск севера, поиск юга.

3. Закон действия, магнитоскоп, удерживающая способность, индуцированный магнит.

Упражнения

1. Сделайте краткое изложение фактов о магнетизме, представленных на этом уроке.

2. Является ли магнетизм материей, силой или энергией? Как вы определяете? На какое другое явление, которое мы изучали, оно похоже? Как?

3. Сделайте себе простой магнитоскоп, подвесив тонкую стальную иглу или стержень длиной 5-10 см с легкой нитью или шелковым волокном в центре, чтобы он висел ровно. Затем намагнитьте иглу и храните магнитоскоп в своей записной книжке.

4. Назовите три способа использования магнитов или магнетизма.

5. Назовите три способа использования магнитоскопа.

6. Все ли магниты производятся индукционным методом? Объясните.

7. В каких магнитных устройствах желательна высокая удерживающая способность?

(2) ТЕОРИЯ МАГНЕТИЗМА И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

205. Теория магнетизма.—Если намагниченная часовая пружина разломана надвое, то *каждая часть* оказывается магнитом. Если одну из этих частей сломать и этот процесс

разрушения продолжать, насколько это возможно, то полученная наименьшая часть будет иметь два полюса и фактически станет полноценным магнитом. (См. рис. 176.) Предполагается, что если бы разделение можно было продолжить достаточно далеко, то было бы обнаружено, что каждая из *молекул стальной пружины* имеет *два полюса* и является магнитом. Другими словами, считается, что магнетизм является *молекулярным*. Другим доказательством, подтверждающим эту идею, является тот факт, что когда магнит нагревают докрасна, до температуры бурного движения молекул, его магнетизм исчезает. Кроме того, если длинную, тонкую мягкую железную проволоку сильно намагнитить, легкое прикосновение к ней приведет к исчезновению ее магнетизма. Это привело бы нас к мысли, что магнетизм не является свойством поверхности тела, но что он зависит от молекулярной структуры или расположения молекул.

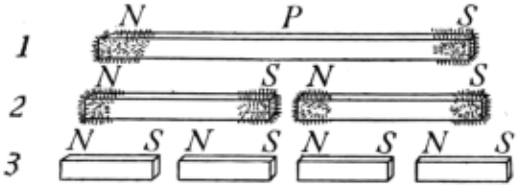


FIG. 176.—Effect of breaking a magnet.

Рис. 176.— Эффект разрушения магнита.

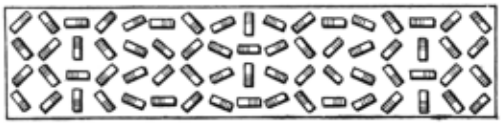


FIG. 177.—Possible arrangement of molecules in an unmagnetized iron bar.

Рис. 177.— Возможное расположение молекул в немагнитном железном стержне.

Считается также, что *молекулы* магнитного вещества всегда являются магнитами; что до того, как тело намагничено, молекулы расположены как попало (см. Рис. 177), но когда магнит подносят поближе, молекулы имеют тенденцию выстраиваться в линию, причем их северные полюса направлены в одном направлении. (См. рис. 178.) При сотрясении магнита некоторые молекулы имеют тенденцию смещаться, возможно, образуя небольшие замкнутые цепочки молекул. (См. рис. 177.)

FIG. 178.—Arrangement of molecules in a saturated magnet.

Рис. 178.—Расположение молекул в насыщенном магните.

206. Магнитные поля и силовые линии.—Поведение магнитов лучше понять после наблюдения и изучения *силовых линий* магнита. Самые ранние их описания принадлежат Уильяму Гилберту, первому англичанину, который в полной мере оценил ценность проведения экспериментальных наблюдений. В 1600 году он написал книгу под названием "*О магнетизме*", в которой опубликовал свои эксперименты и открытия в области магнетизма. (См. стр. 217.)

Магнитные силовые линии можно наблюдать, поместив магнит на стол, затем положив на него лист бумаги и посыпав его мелкими железными опилками. При легком постукивании по бумаге опилки выстраиваются по изогнутым линиям, проходящим от одного конца магнита к другому. Они называются *магнитными силовыми линиями*. (См. рис. 179.) Пространство вокруг магнита, в котором находятся магнитные линии, называется *магнитным полем*. (См. рис. 180.)

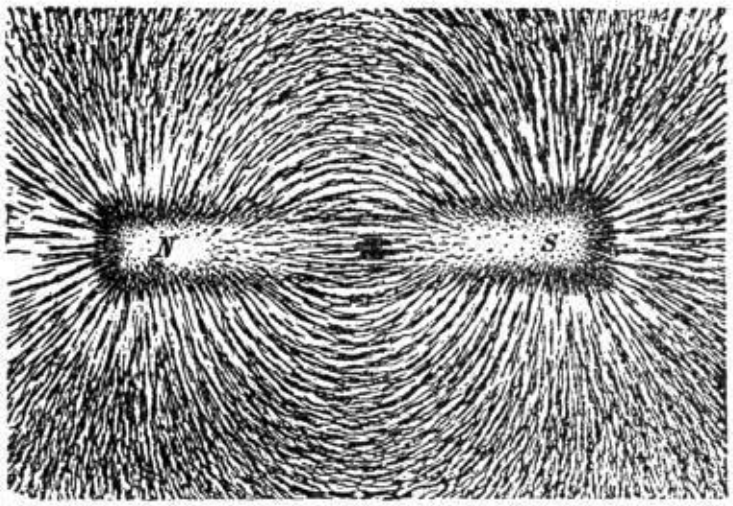


FIG. 179.—Iron filings on paper over a bar magnet

Рис. 179.—Железные опилки на бумаге над стержневым магнитом.

Было обнаружено много интересных вещей, касающихся силовых линий. Некоторым фактам магнитного воздействия дается простое объяснение, если мы думаем, что они связаны с магнитными силовыми линиями. Ниже приводится краткое изложение нескольких открытий, касающихся магнитных полей:

(A) магнитные силовые линии проходят рядом и не пересекаются друг с другом. (См. раздел Магнитные поля.)

(B) считается, что магнитные силовые линии образуют "*замкнутые кривые*" или являются непрерывными. Часть снаружи магнита является продолжением части внутри магнита. (См. рис. 180.)

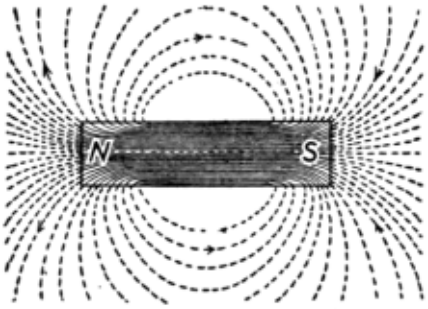


FIG. 180.—Diagram of the field of a bar magnet.

Рис. 180.—Диаграмма поля стержневого магнита.

(C) притяжение магнита сильнее всего там, где магнитные линии самые толстые, следовательно, считается, что они являются средством, с помощью которого магнит притягивается.

(D) Поскольку одинаковые полюса отталкиваются, а непохожие притягиваются, известно, что действие вдоль силовой линии неодинаково в обоих направлениях. Поэтому физики договорились указывать наконечником стрелки (рис. 180) направление, в котором полюс, стремящийся к северу, стремится двигаться вдоль силовой линии. Считается, что силовые линии выходят из северного полюса магнита и входят в южный полюс. (См. рис. 181 и 182.)

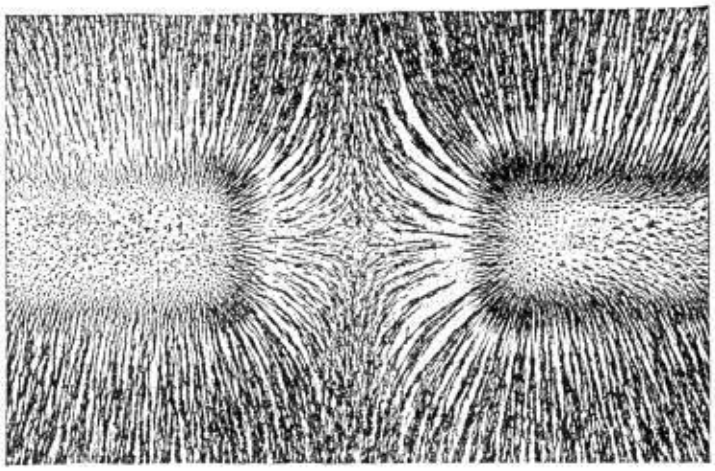


FIG. 181.—Magnetic field between like poles showing repulsion.

Рис. 181.—Магнитное поле между одноименными полюсами, показывающее отталкивание.

(E) Свободно подвешенный небольшой магнит в магнитном поле располагается параллельно силовым линиям. (Проверьте это, удерживая магнитный компас в разных частях магнитного поля). Обратите внимание на положение иглы и силовые линии. Этот факт указывает на то, что стрелка компаса указывает на север из-за своей тенденции поворачиваться так, чтобы быть параллельной магнитному полю Земли.

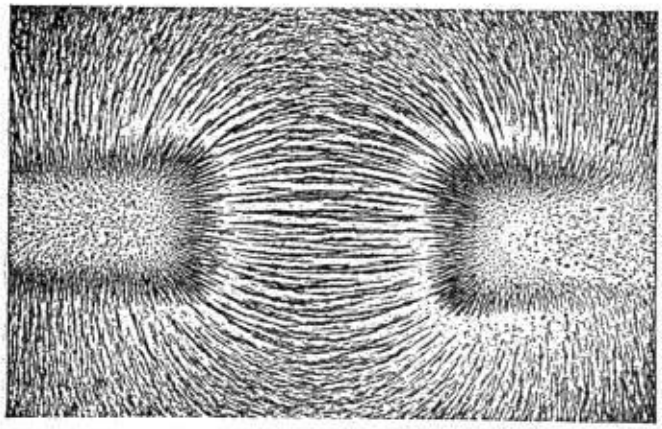


FIG. 182.—Magnetic field between unlike poles showing attraction.

Рис. 182.—Магнитное поле между противоположными полюсами, демонстрирующее притяжение.

(F) Каждый магнит сопровождается своим собственным магнитным полем. Когда кусок железа попадает в поле действия магнита, силовые линии, проходящие через железо, имеют тенденцию выстраивать молекулы железа в линию или намагничивать железо.

207. Магнитная индукция.—Действие магнитных силовых линий при намагничивании железа, когда они проходят через него, называется *Магнитной индукцией*. Теперь это можно определить как *возникновение магнетизма в теле путем помещения его в магнитное поле*. Свободно подвешенные магниты располагаются параллельно силовым линиям в магнитном поле, поэтому, когда железный стержень помещается в слабое поле или в поле с небольшим количеством силовых линий, железо намагничивается лишь слегка; то есть лишь несколько молекул оказываются в линии. Увеличение напряженности намагничивающего поля

усиливает намагничивание железа до определенного момента. После этого более сильные поля не усиливают намагничивающий эффект. Когда железо проявляет наибольшую намагниченность, говорят, что оно *насыщено*.

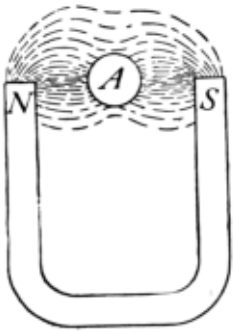


FIG. 183.—Effect of a piece of iron in a magnetic field.

Рис. 183.— Действие куска железа в магнитном поле.

208. Проницаемость.—Если кусок железа поместить между полюсами подковообразного магнита, то "поле", получаемое при насыпании железных опилок на лист бумаги поверх магнита, напоминает то, что показано на рис. 183. Линии в пространстве между полюсами магнита, кажется, притягиваются к куску железа. *Свойство* железа, благодаря которому оно имеет тенденцию концентрироваться и увеличивать количество силовых линий магнитного поля, называется *проницаемостью*. Мягкое железо обладает высокой проницаемостью. Заметные различия в поведении проявляются у разных видов железа и стали при помещении в магнитное поле. Очень чистое железо, или *мягкое* железо, сильно намагничивается магнитным полем средней напряженности. Однако его магнетизм быстро теряется при удалении намагничивающего поля. Это указывает на то, что молекулы мягкого железа легко выстраиваются в линию, но также легко распадаются при удалении от намагничивающей силы. Магниты из мягкого железа, обладающие высокой проницаемостью, быстро теряют свой магнетизм. Поэтому их называют временными магнитами. С другой стороны, стержень из закаленной стали трудно намагнитить, но после намагничивания он сохраняет свой магнетизм надолго, если только какое-либо действие не ослабит магнит. Такие магниты называются *постоянными* магнитами.

ПРИМЕЧАНИЕ.— Термин "силовая линия", используемый в этом тексте, означает то же самое, что и "линия индукции", используемая в более продвинутых текстах.

Важные темы

1. Молекулярная теория магнетизма, насыщения, проницаемости.

2. Магнитные поля и силовые линии.

3. Шесть фактов, касающихся магнитных полей.

Упражнения

1. Назовите объект, полезность которого зависит от способности его удерживать. Объясните.

2. Как вы объясняете прочность твердой стали?

3. Намагничены ли молекулы куска железа постоянно? Объясните.

4. Когда кусок железа намагничивается индукционным способом, поступает ли какой-либо магнетизм в железо из магнита? Теряет ли магнит магнетизм по мере того, как железо приобретает магнетизм? Объясни.

5. Все ли магниты были изготовлены индукционным методом? Объясните.

6. Почему постукивание по куску железа в магнитном поле увеличивает степень его намагничивания?

7. Изложите своими словами теорию магнетизма.

8. Расположите два стержневых магнита в линию на расстоянии 5 см друг от друга, *в отличие от* соседних полюсов; создайте магнитное поле с помощью железных опилок. Нарисуйте его.

9. Повторите упражнение № 8, используя палки, *похожие* на палки. Опишите внешний вид поля, которое вызывает притяжение; поля, которое вызывает отталкивание.

(3) Магнетизм Земли

209. Магнитное поле Земли.— Знаменитая книга доктора Уильяма Гилберта "*О магните*" содержит множество полезных и наводящих на размышления идей, и, пожалуй, ни одна из них не является более важной, чем его объяснение поведения стрелки компаса. Он предположил, что земля - это магнит с *южным* полюсом вблизи географического северного полюса и с *северным* полюсом вблизи географического южного полюса. Впоследствии было доказано, что эта идея верна. Северный магнитный полюс (или ориентированный на юг) был найден в 1831 году сэром Джеймсом Россом в Бутия Феликс, Канада. Его приблизительное нынешнее местоположение, определенное капитаном Амундсеном в 1905 году, составляет 70 ° 5 северной широты и 96 ° 46 Западной долготы. Южный магнитный полюс находится на 72 ° южной широты, 155 ° 16 Восточной долготы. Северный магнитный полюс постоянно меняет свое положение. В настоящее время он медленно движется на запад.

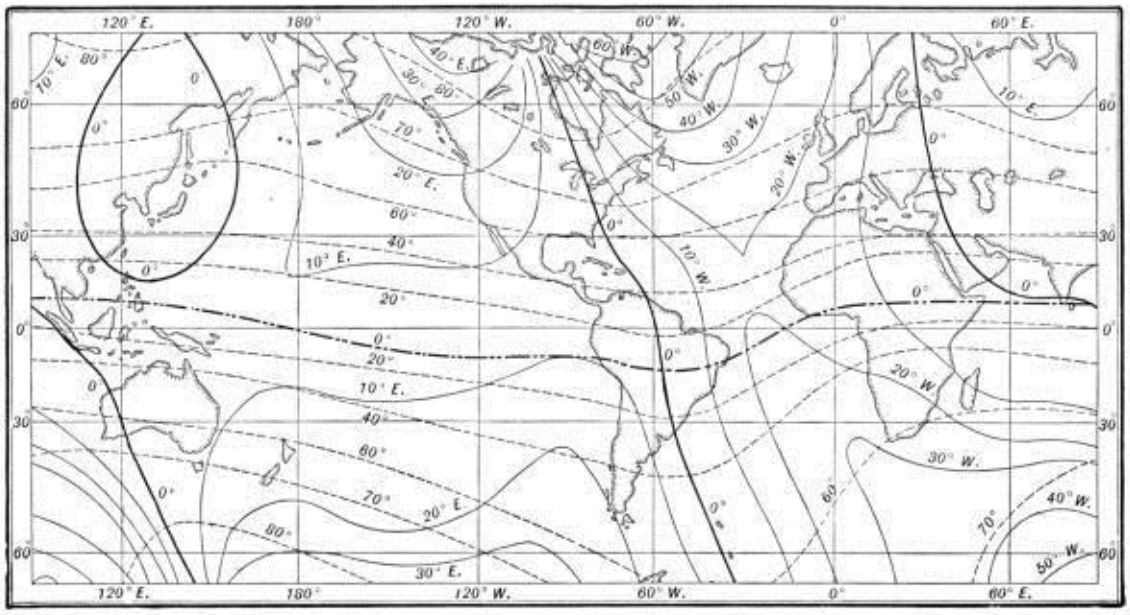


Fig. 184 —Magnetic map of the earth for 1910. Isogonic lines——— Isoclinic lines.....

Рис. 184.-Магнитная карта Земли за 1910 год. Изогонические линии --- Изоклинные линии - - - -

210. Направление магнитного поля Земли.—Указывалось на тот факт, что компас не всегда указывает точно на север. Это указывает на то, что магнитное поле земли меняется в своем направлении. Колумб обнаружил этот факт во время своего первого путешествия. Открытие встревожило моряков, поскольку они опасались, что могут оказаться в месте, где компас окажется ненадежным. Это изменение называется *склонением*. Оно определяется как *угол между направлением стрелки и географическим меридианом*. Склонение связано с тем, что географический и магнитный полюса не совпадают. Что подразумевается под склонением в 90°? Линии, проведенные на карте таким образом, чтобы проходить через места с одинаковым склонением, называются *изогональными* линиями. Линия, проходящая через точки, где стрелка указывает на север, без наклона, является *агонической* линией. Агоническая линия медленно движется на запад. Сейчас она проходит недалеко от Лансинга, Мичиган; Цинциннати, Огайо; и Чарльстона, Южная Каролина. (См. рис. 184.) Во всех точках Соединенных Штатов и Канады к востоку от агонической линии склонение - *запад*, в точках к западу от агонической линии склонение - *восток*.

211. Игла для погружения.— Установите немагнитную стальную иглу на *горизонтальную* ось таким образом, чтобы она находилась в нейтральном равновесии, то есть оставалась сбалансированной в любом положении, в котором ее оставили. После намагничивания и размещения таким образом, чтобы он мог поворачиваться в северной и южной плоскостях, полюс, направленный на север, теперь окажется вдавленным, а стрелка образует угол почти 70 ° с горизонталью. (См. рис. 185.) Положение, принимаемое стрелкой, указывает на то, что в Соединенных Штатах магнитное поле Земли вместо того, чтобы быть горизонтальным, *опускается* вниз под углом около 70 °. Над магнитным полюсом, так называемая, *опускающаяся стрелка* расположена вертикально. На экваторе Земли она почти горизонтальна. *Угол между горизонтальной плоскостью и силовыми магнитными линиями Земли называется наклоном или падением.*

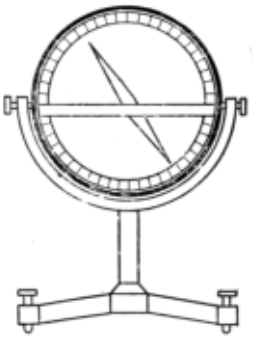


FIG. 185.—A dipping needle.

Рис. 185.—Игла для погружения.

212. Индуктивный эффект магнитного поля Земли.—Следует рассматривать магнитные силовые линии Земли как заполняющие пространство над землей, проходящие через все объекты на поверхности, а также внутрь и через недра земли. *Направление* поля Земли показано компасом и стрелкой для погружения. Магнитные силовые линии имеют тенденцию врезаться в железные и стальные объекты и следовать за ними из-за их проницаемости. Следовательно, железные или стальные объекты, такие как столбы, колонны и т.д., пронизаны силовыми линиями земли, которые в Соединенных Штатах входят в верхнюю часть этих объектов и выходят внизу. Силовые линии, проходящие через эти тела, выстраивают их молекулы в линию или намагничивают тела. *Индуктивный эффект* земного магнетизма указывает на то, как магниты приобретают намагниченное состояние. Насколько известно, магнетизм не оказывает никакого воздействия на организм

человека. Поэтому его можно изучить, только наблюдая за его воздействием на магниты или тела, на которые он воздействует.

Важные темы

Магнитное поле Земли, провал, склонение, агоническая линия, индукция полем земли.

Упражнения

1. Как погружная игла могла бы помочь в определении местоположения магнитных полюсов Земли?

2. Будет ли игла для погружения весить больше до или после намагничивания? Объясните.

3. Говорят, что *индукция предшествует притяжению*. Используя эту идею, объясните, как магнит притягивает кусок мягкого железа.

4. Проведите эксперимент, чтобы показать, что кусок железа притягивает магнит точно так же, как магнит притягивает кусок железа.

5. Приведите два метода определения полюсов магнита.

6. Назовите три наиболее важных пункта теории магнетизма. Какие доказательства подтверждают каждый из них?

7. Почему постоянный магнит повреждается при падении?

8. Назовите два важных вида использования магнитного поля Земли.

9. Какой магнитный полюс вы бы обнаружили наверху железного столба, который некоторое время простоял в земле? Какой полюс внизу? Как бы вы это проверили?

ГЛАВА X

СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

(1) ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ

213. Электрические заряды.—Идеи, полученные при изучении магнетизма, помогают при изучении электричества, давая некоторые фундаментальные идеи и принципы, которые часто будут использоваться в качестве основы для сравнения действий намагниченных и наэлектризованных тел. Процесс наэлектризовывания тела сильно отличается от процесса его намагничивания. Таким образом, если резиновую расческу или стержень потереть шерстяной тканью, то протираемый предмет способен притягивать к себе легкие кусочки бумаги, нитки и т.д. Это своеобразное притяжение было замечено и зафиксировано древними греками в 600 году до нашей эры, когда было обнаружено, что янтарь при трении притягивает к себе легкие предметы. Долгое время предполагалось, что янтарь был единственным веществом, обладающим этим свойством. Доктор Уильям Гилберт, однако, обнаружил, что наэлектризованное состояние может быть получено путем трения самых разных веществ. Он назвал *полученный электрификацией*в честь греческого названия янтаря (*электрон*). Считается, что тело, подобное твердой резине или янтарю, которое при трении притягивает легкие предметы, *наэлектризовано* или получило *заряд* электричества.

214. Закон электрического действия.—Пусть вулканитовый стержень наэлектризовается путем трения шерстяной тканью до тех пор, пока он не начнет притягивать легкие предметы; затем поместите его в проволочное стремя, подвешенное на шелковой нити. Если второй вулканитовый стержень будет аналогичным образом наэлектризован и поднесен поближе к первому, то будет обнаружено, что они оба отталкиваются. (См. рис. 186.) Если теперь потереть стеклянный стержень шелком и поднести его поближе к подвешенному стержню, они *притянутся*. Эта разница в поведении указывает на разницу в наэлектризованности или заряде стержней. Два заряженных вулканитовых стержня отталкиваются, а заряженное стекло и вулканит притягиваются, что указывает на *закон электрического действия*. *Одинаковые заряды отталкиваются друг от друга, а непохожие - притягиваются.* Обширные эксперименты со всеми видами веществ показывают, что существует только два вида электрических зарядов. Электрический заряд на стекле при натирании шелком или шерстью называется *положительным*, а на твердой резине или вулканите при натирании шерстью - *отрицательным*.

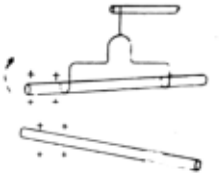


FIG. 186.—Repulsion of like charges.

РИС. 186.—Отталкивание одноименных зарядов.

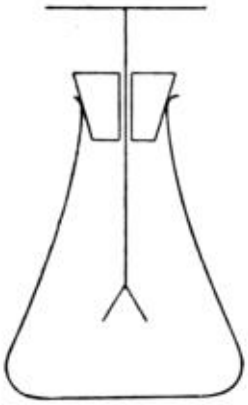


Fig. 187.—An aluminum foil electroscope.

Fig. 188.—A proof plane.

Рис. 187.— Электроскоп из алюминиевой фольги.
Рис. 188.—Плоскость проверки.

215. Электроскоп и его применение.—Электроскоп - это устройство, используемое для проверки наличия электрического заряда. *Электроскоп из алюминиевой фольги* состоит из колбы, закрытой резиновой пробкой, через которую проходит стержень, заканчивающийся сверху шариком или пластиной, а снизу прикреплены два узких листа тонкой алюминиевой фольги. Обычно два листа свисают близко друг к другу и параллельно, но если поднести заряженное тело к электроскопу, листья раздвигаются внизу. (См. рис. 187.) *Вид заряда* на теле можно определить с помощью электроскопа следующим образом: Сделайте *пробную плоскость*, закрепив небольшой металлический диск на конце твердого резинового стержня. (См. рис. 188.) Прикоснитесь диском пробной плоскости сначала к заряженному резиновому стержню, а затем к верхней части электроскопа. Створки последнего отделятся, показывая, что электроскоп заряжен. Этот заряд остается после снятия контрольной плоскости. Если заряженный вулканитовый стержень поднести к электроскопу, листья отделятся еще больше, то есть заряд, *подобный* заряду на электроскопе, заставляет листья отделяться еще больше. Но если осторожно поднести к нему *непохожий* заряд, например, на положительно заряженной стеклянной палочке, можно увидеть, как листья сдвигаются вместе.

Fig. 189.—Rod with woolen cap.

Рис. 189.—Стержень с шерстяной шапочкой.

216. Одновременно изготавливаются два заряда.—Для конца вулканитового стержня изготавливается плотно прилегающий шерстяной чехол или шапочка длиной около 3 дюймов. Шелковая нить, прикрепленная к колпачку, позволяет удерживать его, пока стержень вращается внутри. (См. рис. 189.) Если стержень с колпачком держать рядом с заряженным электроскопом, эффект будет незначительным или вообще отсутствовать. Если теперь снять колпачок с помощью шелковой нити и подержать его рядом с электроскопом, то окажется, что он заряжен положительно, в то время как стержень заряжен отрицательно. Тот факт, что никакого результата не видно, когда колпачок и стержень находятся вместе, указывает на то, что один заряд нейтрализует другой. Другими словами, *заряды* должны *быть равны*. Это иллюстрирует ту истину, что *когда в результате трения возникает электризация, два трущихся друг о друга объекта приобретают равные и противоположные заряды*.

217. Зарядка контактом и проводимостью.—Если маленький пробковый шарик подвешен на шелковой нити, то заряженный стержень, поднесенный близко, сначала притягивается, но после контакта отталкивается (см. Рис. 190), показывая, что шарик заряжен той же наэлектризованностью, что и стержень. То есть заряд, придаваемый объекту при *контакте* с заряженным телом, имеет *тот же вид*, что и у заряженного тела. Плоскость доказательства в статье 215 несет тот же тип заряда, что и на стержне, от которого она заряжена. Некоторые вещества обладают способностью передавать заряды электризации. Они называются *проводниками*, те, которые не проводят электрификацию, являются *изоляторами*. Проводящую способность тела легко проверить, поместив один конец стержня из материала на верхнюю часть электроскопа, а другой конец на изолированную опору, как показано на рис. 191. Если теперь заряд привести в соприкосновение с телом *a*, электроскоп покажет по своим листьям, проводит ли испытуемый стержень ток или нет. При испытании проводящих веществ листья отделяются мгновенно, в то время как с изоляторами никаких действий не происходит. При тестировании некоторых материалов на электропроводность листья расходятся постепенно. Говорят, что такие тела являются *плохими* проводниками. Обнаружены все степени проводимости. Металлы являются лучшими проводниками. Лучшими изоляторами являются резина, слюда, шеллак, стекло, шелк, фарфор, парафин и масла.

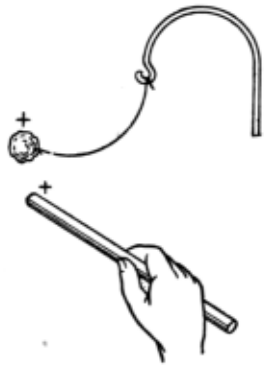


FIG. 190.—The pith ball charged by contact is repelled.

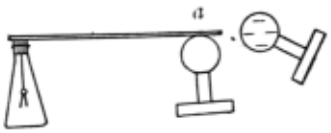


FIG. 191.—Testing for conductivity.

Рис. 190.—Пробковый шарик, заряженный при контакте, отталкивается.
Рис. 191.—Проверка на электропроводность.

Важные темы

1. Положительные и отрицательные изменения. Закон электрического действия.

2. Электроскоп и его применение.

3. Проводники и изоляторы.

Упражнения

1. Воздух - это проводник? Объясните свой ответ.

2. Укажите два момента сходства и два момента различия между магнетизмом и электрификацией.

3. Если бы вы проверяли электризацию тела с помощью заряженного пробкового шарика, подвешенного на шелковой нити, было бы притяжение или отталкивание лучшим тестом? Приведите причины.

4. Вы когда-нибудь производили электризацию трением вне лаборатории? Объясните.

5. Являются ли стержни, на которых мы производим электризацию трением, проводниками или изоляторами? Как вы это объясните?

6. Проводники или изоляторы имеют большее значение в практическом электричестве? Объясните.

(2) Электрические поля и электростатическая индукция

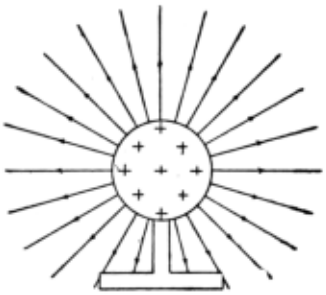


Fig. 192.—An electric field about a positively charged shell.

Fig. 193.—A "detector."

Рис. 192.Электрическое поле вокруг положительно заряженной оболочки.
Рис. 193.— "Детектор".

218. Электрические поля.—При изучении магнетизма мы узнали, что магнит воздействует на окружающие его объекты посредством своих магнитных силовых линий. Аналогичным образом предполагается, что заряженное тело оказывает электрическое воздействие на окружающую среду с помощью *силовых линий*. Например, считается, что притяжение, которое заряженное тело оказывает на легкие объекты на коротких расстояниях, или влияние заряда на электроскоп, расположенный на расстоянии нескольких футов, обусловлено *электрическим полем* вокруг заряженного тела. (См. рис. 192.) Наличие электрических силовых линий можно продемонстрировать, поместив тонкий лист папиросной бумаги с отверстиями в форме ромба на световую стеклянную указку (рис. 193). При помещении в электрическое поле "детектор" из папиросной бумаги располагается параллельно силовым линиям. Говорят, что электрические силовые линии проходят от положительного заряда к отрицательному. (См. рис. 194.) Направление, показанное стрелкой на линиях, - это то, вдоль которого стремится двигаться небольшой положительный заряд. Электрические силовые линии, в отличие от магнитных, *не* непрерывны. Они простираются от положительного заряда к отрицательному. Следовательно, каждый положительный заряд где-то связан силовыми линиями с отрицательным зарядом. Эти идеи электрических полей оказывают большую помощь в объяснении многих электрических эффектов. Электрические поля между *противоположно* заряженными оболочками будут обнаружены, как показано на рис. 194, в то время как между оболочками с одинаковыми зарядами поля будут обнаружены, как показано на рис. 195.

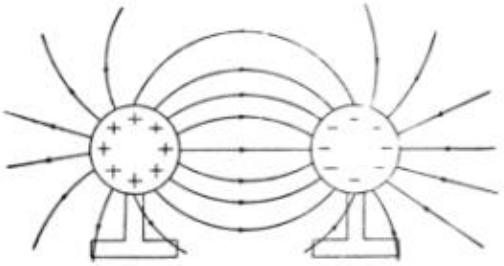


FIG. 194.—Electric field between unlike charges.

Рис. 194.—электрическое поле между разнородными зарядами.

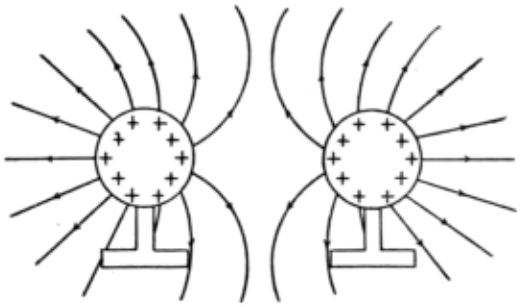


FIG. 195.—Electric field between like charges.

Рис. 195.—электрическое поле между одноименными зарядами.

219. Электростатическая индукция.—Если поднести заряженное тело к электроскопу из алюминиевой фольги, створки отделятся. (См. рис. 198.) Чем ближе подносится заряд, тем шире распускаются листья, но когда заряд снимается, листья сворачиваются, показывая, что электроскоп ничего не получил. На него просто подействовал заряд, находившийся поблизости. *Это создание наэлектризованного состояния в теле под воздействием близкого к нему заряда называется электростатической индукцией.* Размещение изоляторов, таких как лист стекла, между зарядом и электроскопом не влияет на результат, который, по-видимому, достигается действием электрических силовых линий. Эти силовые линии без труда проходят *через незаряженные изоляторы* и часто заканчиваются на поверхности проводника, где их воздействие приводит к накоплению заряда. *Заряженные изоляторы*, однако, влияют на индуктивное действие. Это можно заметить с помощью чувствительного электроскопа.

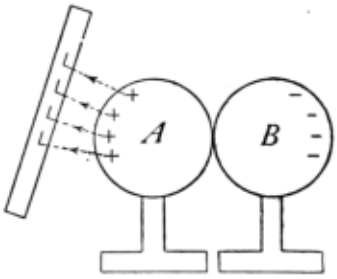


FIG. 196.—Production of two charges by the influence of a third charge.

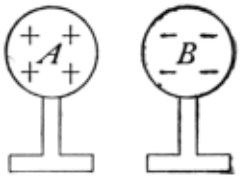


FIG. 197.—The two charges separated.

Рис. 196.— Образование двух зарядов под воздействием третьего заряда.
Рис. 197.— Разделение двух зарядов.

220. Электрическое разделение методом индукции.—Только что описанное действие можно дополнительно проиллюстрировать, взяв два изолированных незаряженных латунных корпуса, *A* и *B*. (См. рис. 196.) Поднесите заряженный вулканитовый стержень к оболочке "*A*", пока оболочки соприкасаются друг с другом. Затем снимите оболочку *B* (рис. 197), при этом стержень остается рядом с *A*. При проверке оболочек на электризацию обнаруживается, что *A* обладает положительным зарядом. Это действие в некоторых отношениях аналогично магнитной индукции, поскольку, если поместить полюс, направленный на север, рядом с куском железа, утюг за счет индукции развивает полюс, направленный на юг, на конце, ближайшем к магниту, и полюс, направленный на север, на другом конце. Однако есть одно разительное отличие. Если намагниченное железо разделить на две части, каждая часть представляет собой цельный магнит, обладающий двумя непохожими полюсами; в то время как если объект, подверженный электростатической индукции, разделить на две части, *одна часть* имеет *положительный* заряд, а другая - *отрицательный* заряд.

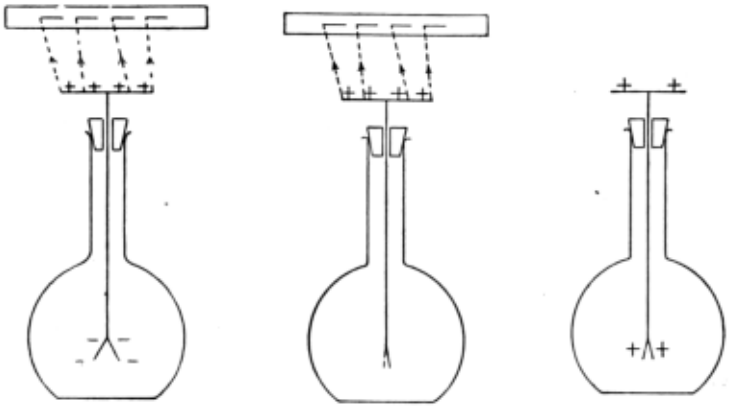


Fig. 198. Fig. 199. Fig. 200.

Fig. 198.—Effect of a charged rod near an electroscope.
Fig. 199.—When a finger is touched to the top of the electroscope, the repelled negative charge escapes.
Fig. 200.—The electroscope is now positively charged.

Рис. 198.— Воздействие заряженного стержня вблизи электроскопа.
Рис. 199.—Когда пальцем прикасаются к верхней части электроскопа, отраженный отрицательный заряд уходит.
Рис. 200.— Теперь электроскоп заряжен положительно.

221. Заряжать тело индукционным способом легко. Чтобы зарядить электроскоп из алюминиевой фольги индукционным способом, поднесите *близко* (скажем, на 10 см) от верхней части электроскопа заряженный резиновый стержень. (См. рис. 198.) Отделенные листы показывают наличие отталкивающего или *отрицательного* заряда, при этом *положительный* заряд находится на диске вверху. Если, держа заряженный стержень рядом, коснуться пальцем металлической крышки электроскопа, листья сразу же опадут вместе, показывая, что отраженный отрицательный заряд покинул электроскоп (рис. 199). При удалении *сначала пальца*, а затем заряженного стержня положительный заряд распространяется по металлическим частям электроскопа, как показано разделением лепестков (рис. 200). Теперь электроскоп *заряжен положительно* за счет индукции. Если заряженный резиновый стержень поднести примерно на 30 см от электроскопа, его створки имеют тенденцию сближаться. Если тело, заряженное аналогично электроскопу или *положительно*, подвинуть к электроскопу, листья отделятся еще больше. Такое поведение электроскопа позволяет определить *вид* заряда на теле.

Теперь можно сформулировать два принципа *электростатической* индукции: (1) Два *равных*, *непохожих* заряда всегда возникают в результате *электростатической* индукции.

(2) Если тело, на которое воздействует индукция, соединено с землей проводником, отталкиваемый или "*свободный*" заряд отводится от тела, в то время как "*связанный*" заряд удерживается индуцирующим зарядом.

Эти принципы применимы в каждом случае индукции.

Важные темы

1. Электрические силовые линии. Характеристики (3).

2. Электростатическая индукция. Принципы (2).

3. Зарядка индукционным методом. Объяснение.

Упражнения

1. Что такое электрические силовые линии? Где они находятся? Что означает стрелка на линиях?

2. Назовите три эффекта, производимых электрическими полями.

3. Возникает ли электростатическая индукция вне лабораторий? Где? Когда?

4. Имея заряженный резиновый стержень, как можно заряжать от него индукционно изолированные латунные оболочки, придавая некоторым положительный, а некоторым отрицательный заряд?

5. Как можно испытывать заряды на снарядах?

6. Почему при зарядке электроскопа индукционным методом необходимо снимать палец перед тем, как снимать стеклянный стержень?

7. Почему лучше всего, чтобы резиновые и стеклянные стержни, используемые при электрификации, были теплее воздуха помещения, в котором проводятся эксперименты?

8. Если поднести острый металлический наконечник к ручке заряженного электроскопа, листья быстро сближаются. Объясните.

9. Может ли кто-нибудь из ваших учеников на уроке физики зарядиться электричеством, если он встанет на доску, поддерживаемую сухими стеклянными изоляторами? Объясни.

10. Если металлическая банка сильно заряжена, когда стоит на изоляторе, тесты, проведенные с помощью измерительной плоскости и электроскопа, показывают отсутствие заряда внутри. Объясни.

(3) Электрические теории и распределение зарядов

222. Теория электричества Франклина.—Мы изучили процесс электризации с помощью трения и индукции. Теперь будет полезно рассмотреть некоторые теории электричества. Из-за легкости, с которой электрификация движется по проводнику, многие вообразили, что электричество - это жидкость. *Теория одной жидкости* Бенджамина Франклина утверждала, что *положительный* заряд заключается в накоплении или избытке электричества, в то время как *отрицательный* заряд подразумевает дефицит или меньшее, чем обычно, количество. Эта теория привела к представлению положительной электрификации знаком

плюс (+), а *отрицательной*- знаком минус (-). Эти знаки широко используются сегодня. Следует четко помнить об использовании и значении этих знаков.

223. Электронная теория.—Однако различные открытия и эксперименты, сделанные в последние годы, указывают на то, что *отрицательное* электричество состоит из небольших *корпускул* или *электронов*, которые могут легко переходить от одной молекулы проводника к другой, в то время как их движение через изолятор сильно замедляется, если не предотвращается полностью. Эта теория, иногда называемая *электронной теорией*, утверждает, что каждый атом вещества имеет в качестве ядра частицу *положительного* электричества, а окружающие его мельчайшие отрицательные частички или электроны. Считается, что электроны в атоме намного меньше положительных зарядов и вращаются вокруг последних с большой скоростью. Обычно положительный и отрицательный заряды равны, так что атом находится в нейтральном или незаряженном состоянии. Под действием различных сил некоторые из *отрицательных* частиц внутри проводника могут перемещаться от молекулы к молекуле. Таким образом, если поднести отрицательно заряженный стержень к проводнику, многие электроны устремляются к дальнему концу, заряжая его *отрицательно*, в то время как на ближайшем конце проводника остается меньше электронов, чем обычно, вместе с неподвижными положительными частицами. Следовательно, ближний конец заряжен положительно. (См. рис. 198.) С другой стороны, если используется положительный заряд, он притягивает электроны с дальнего конца, оставляя там неподвижные положительные частицы, и этот конец становится положительно наэлектризованным, в то время как ближний конец с его избытком электронов, конечно, наэлектризован отрицательно.

Электронная теория считается хорошо обоснованной, поскольку электроны (а) определили их *массу*, (б) измерили их *скорость* measured, (c) their *electric charge* determined, (d) and their *behavior* while *passing through magnetic* and *электрические поля*. Эти факты и другие экспериментальные доказательства продемонстрировали существование электронов. Положительная частица непосредственно не наблюдалась, но предполагается, что она существует, чтобы объяснить эффекты, наблюдаемые при индукции, заряжении трением и т.д.

224. Распределение электрического заряда по проводнику.—Мы применили электронную теорию для объяснения явления электростатической индукции. Давайте теперь воспользуемся этим при изучении распределения электрического заряда по проводнику. Пусть цилиндрический металлический сосуд, открытый сверху и изолированный кусочками сургуча, наделен отрицательным электрическим зарядом. (См. рис. 201.) Теперь, взяв пробную плоскость и попытавшись получить заряд из *внутренней* части сосуда, результата не найдено, в то время как заряд легко получить с *внешней* стороны чаши. Этот результат объясняется тем, что электроны взаимно самоотталкиваются и, стремясь разделиться как можно шире, попадают на внешнюю поверхность сосуда. Это же условие справедливо и для тарелки, изготовленной из плетеной проволоки. Если заряженный проводник не имеет сферической формы, наблюдается неравномерное распределение заряда. Таким образом, если *яйцевидный* проводник изолирован и заряжен (см. рис. 202), контрольная плоскость, приложенная к широкому концу корпуса, а затем к электроскопу, вызывает определенное расхождение лепестков последнего. Если теперь снять заряд с *заостренного* конца контрольной плоскости на незаряженный электроскоп, то будет замечено большее распространение листьев, чем раньше. Это указывает на то, что электричество может быть неравномерно распределено по поверхности тела. Обнаружено, что *электрическая плотность*, как ее еще называют, наибольшая там, где поверхность изгибается наиболее резко. На очень крутой кривой, например в точке, электрическая плотность может быть настолько велика, что часть заряда улетучивается в воздух. (См. рис.

203.) По этой причине электрические проводники, на которых желательно *сохранять* электрический заряд, имеют круглые поверхности, и все острые точки и углы исключены. В то время как проводники, такие как громоотводы, которые предназначены для облегчения отвода электрических зарядов, снабжены рядом острых точек на конце или в другом месте. В таких точках частицы воздуха с силой притягиваются к острию и после заряжения сильно уносятся прочь, создавая так называемый *электрический ветер*, который с большой скоростью уносит заряд. (См. рис. 203.)

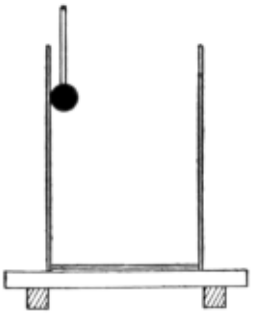


FIG. 201.—No charge is found inside a hollow vessel.

Рис. 201.—Внутри полого сосуда заряд отсутствует.

FIG. 202.—More charge at the pointed end.

Рис. 202.—Дополнительный заряд на заостренном конце.

225. Молния и электричество.— Тот факт, что молния - это электрический разряд, был впервые продемонстрирован в 1752 году Бенджамином Франклином, который извлекал электрические заряды из облака, запуская воздушного змея во время грозы. С помощью электричества, которое проходило по шнуру воздушного змея, он провел ряд электрических экспериментов. Это открытие сделало Франклина знаменитым среди ученых всего мира. Затем Франклин предложил использовать громоотводы для защиты зданий от молнии. Эти стержни действуют как проводники для электрического разряда и, таким образом, предотвращают его прохождение через здание с риском перегрева какой-либо детали и возгорания последней. Считается, что наконечники, предусмотренные в верхней части громоотводов, помогают предотвратить удары молнии за счет *бесшумного разряда* так называемого электрического ветра, который имеет тенденцию незаметно объединять заряды в облаках и на земле под ними.

FIG. 203.—Electrical wind produced by a pointed conductor.

FIG. 204.—Electrical whirl. The reaction from the electrical wind causes it to revolve.

Рис. 203.— Электрический ток, создаваемый заостренным проводником.
Рис. 204.—Электрический вихрь. Реакция электрического ветра заставляет его вращаться.

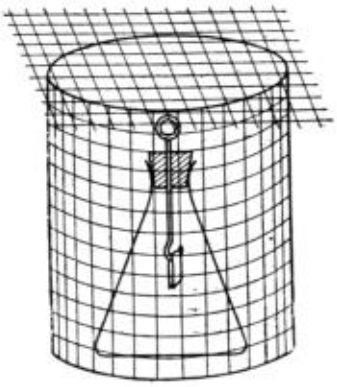


FIG. 205.—The wire screen protects the electroscope.

Рис. 205. Проволочный экран защищает электроскоп.

Заряд в наэлектризованном облаке индуктивно воздействует на землю под ним, притягивая противоположный заряд к находящимся под ним объектам. Разряд из облака часто передается находящимся под ним объектам, таким как деревья или здания. Считается, что*гром* возникает из-за внезапного расширения воздуха при интенсивном нагревании электрическим разрядом и его внезапного сжатия, подобного *шлепку*, когда дорожка мгновенно остывает. Раскаты грома на расстоянии обычно сопровождаются раскатами грома из-за изменения интенсивности звука, главным образом из-за отражения звуковых волн от облаков и других отражающих поверхностей.

226. Электрический экран - это устройство для отключения воздействия электрического заряда. Фарадей обнаружил, что если чувствительный электроскоп окружен экраном из проволочной сетки (см. Рис. 205), то внутри нельзя обнаружить никаких признаков электризации. Другими словами, сеть проводников в здании обеспечивает наилучшую защиту от молнии при условии, что оно соединено с землей хорошими проводниками в нескольких местах.

Важные темы

1. Электрические теории. Доказательства электронной теории.

2. Как теория используется для объяснения индукции?

3. Заряды и их распределение по проводникам (эффект формы).

4. Молния: причины, следствия, громоотводы.

Упражнения

1. В каких отношениях одножидкостная теория Франклина похожа на электронную теорию? В каких отношениях отличается?

2. Рассмотрим две оболочки, заряженные индукцией от наэлектризованного резинового стержня, одну положительно, а другую отрицательно. Объясните процесс, используя идеи электронной теории.

3. Должна ли металлическая крышка электроскопа иметь острые углы? Объясните.

4. Будет ли высокая стальная башня нуждаться в громоотводе так же, как кирпичный дымоход такой же высоты? Объясните.

5. Будет ли твердый шар удерживать больший заряд электричества, чем полый шар того же диаметра? Объясните.

6. Если положительно заряженное облако проплывет над деревом, которое является хорошим проводником электричества, будет ли дерево заряжено? Покажите схему. Объясните.

(4) Потенциал, емкость и электрический конденсатор

227. Условия, вызывающие движение электричества.—При изучении проводников и изоляторов было замечено, что электрический заряд перемещался вдоль проводящего стержня к электроскопу. Это *движение электричества* по проводнику имеет большое практическое значение. Теперь мы рассмотрим условия, которые создают "поток" или "ток" электричества. Пусть два электроскопа стоят рядом друг с другом. Сильно зарядите один, *C* (рис. 206), а другой - слегка. Если теперь поместить легкую жесткую проволоку, прикрепленную к палочке сургуча, так, чтобы соединить верхушки электроскопов, створки *C* частично закроются, в то время как створки *D* слегка приоткроются, что указывает на движение электричества от *C* к *D* вдоль провода. Движение осуществлялось из места с большей степенью электрификации в место с меньшей.

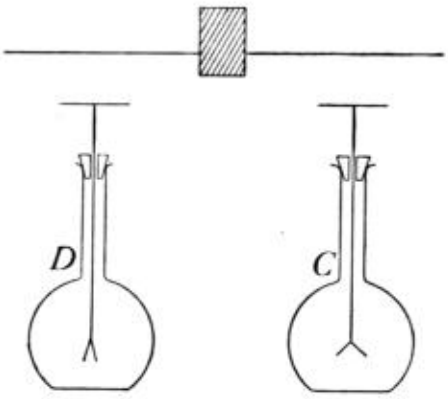


FIG. 206.—Electricity flows from high to low potential.

Рис. 206.—Электрические потоки от высокого к низкому потенциалу.

228. Потенциал.— *Потенциал* наэлектризованного тела - это его *степень наэлектризованности*. Поэтому говорят, что упомянутый выше электроскоп *C* обладает большим потенциалом, чем электроскоп *D*. Движение электричества происходит из места с

большим или *высоким* потенциалом в место с меньшим или *низким* потенциалом. Если два тела имеют *одинаковый* потенциал, то между ними не будет обнаружено никакого движения электричества. Таким образом, *разность потенциалов* между двумя точками, соединенными проводником, является *необходимым условием* для электрического тока. Точно так же, как тепло передается по проводнику из места с высокой температурой в место с более низкой, так и электричество передается по проводнику из места с высоким потенциалом в место с низким. Таким образом, потенциал в электричестве соответствует температуре в тепле. Один - это "степень наэлектризованности", другой - "степень нагретости".

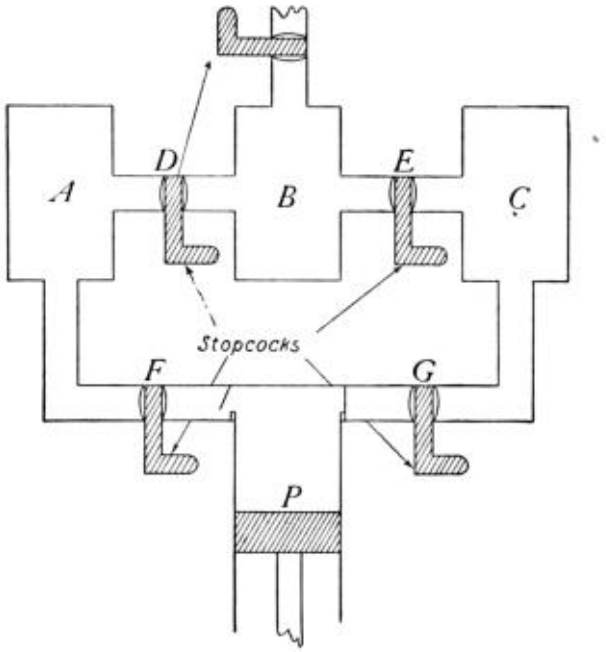


FIG. 207.—Air pressure apparatus to illustrate electrical pressure.

РИС. 207.— Устройство для измерения давления воздуха для иллюстрации электрического давления.

229. Электрическое давление - термин, иногда используемый для обозначения разницы потенциалов. Чтобы лучше понять электрическое давление, рассмотрим три круглых резервуара (рис. 207), содержащих воздух. *A* - это резервуар, вмещающий 10 фунтов воздуха. давление на квадратный дюйм выше атмосферного, *B* открыт для воздуха и, следовательно, находится под атмосферным давлением, в то время как *C* имеет частичный вакуум (10 фунтов). давление меньше атмосферного. При открытии клапана в точках *D* или *E* поток воздуха увеличивается до тех пор, пока давления не выровняются. В то время как при работе насоса at *P* разница в давлении легко поддерживается. Резервуар *A* соответствует изолированному телу, заряженному до высокого *положительного* потенциала; резервуар *B*, открытый для воздуха, представляет собой тело, соединенное с землей; в то время как резервуар *C* представляет тело, имеющее *отрицательный* потенциал. Говорят, что земля обладает *нулевым потенциалом*.

Теперь точно так же, как сжатый воздух будет выталкиваться в атмосферу (от *A* до *B*), в то время как воздух при атмосферном давлении, по возможности, будет вытесняться в частичный вакуум (от *B* до *C*), так и электричество с положительным потенциалом будет стремиться переместиться в место с нулевым потенциалом, в то время как электричество с нулевым потенциалом имеет тенденцию перемещаться в место с отрицательным потенциалом. Тела с *тем же* потенциалом, что и у земли, или с нулевым потенциалом, также называются *нейтральными*. Положительно наэлектризованные вещества имеют положительный потенциал, отрицательно наэлектризованные вещества имеют отрицательный потенциал. Как и в газах, движение всегда имеет тенденцию от более высокого давления (потенциала) к более низкому давлению (потенциалу).

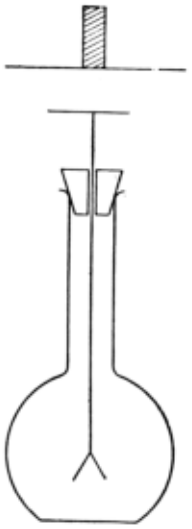


FIG. 208.—The metal plate gives the electroscope a greater surface and hence greater capacity.

Рис. 208.—Металлическая пластина придает электроскопу большую поверхность и, следовательно, большую пропускную способность.

230. Вместимость.—Если у нас есть 100-галлонный резервуар и 10-галлонный резервуар, соединенные трубой, оба заполнены сжатым воздухом, то больший резервуар будет содержать в десять раз больше воздуха, чем меньший, при *том же давлении*, поскольку он в десять раз вместительнее, или, если два резервуара разделены и в каждом содержится одинаковое количество воздуха, давление воздуха, содержащегося в маленьком резервуаре, будет в десять раз больше, чем в большом.

The *Электрическая емкость* проводника в некоторых отношениях аналогична емкости для воздуха. Поскольку, однако, электрические заряды находятся на поверхности тела, его емкость частично зависит от протяженности поверхности. Например, , если снять заряд с заряженного резинового стержня измерительной плоскостью и направить его в электроскоп, то будет замечено определенное расхождение лепестков. Если на электроскоп наложить круглую металлическую пластину, диаметр которой в несколько раз превышает диаметр верхней части электроскопа (см. Рис. 208), и поднести к электроскопу заряд, равный использованному ранее, то створки будут иметь меньшее расхождение, чем раньше, показывая, что *тот же заряд дает меньший потенциал при наложении на корпус большей емкости*.

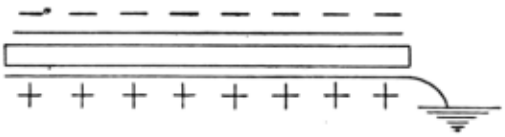


FIG. 209.—A plate condenser.

Рис. 209.—пластинчатый конденсатор.

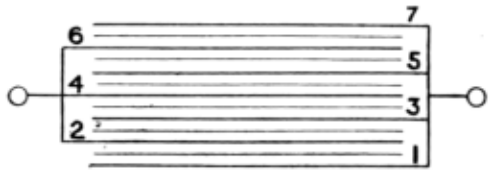


FIG. 210.—A condenser of several plates.

Рис. 210.—Конденсатор из нескольких пластин.

231. Электрический конденсатор представляет собой устройство с большой электрической емкостью, состоящее из параллельных проводников, разделенных хорошими изоляторами. Он был разработан для получения большого электрического заряда на теле удобного размера. Такое устройство имеет большое практическое значение во многих экспериментах и операциях. В его конструкции используется принцип электростатической индукции, при котором заряд одного вида притягивает и прочно "удерживает" рядом с собой заряд противоположного вида. В своей простейшей форме он состоит из двух параллельных проводников, отделенных друг от друга (рис. 209). Верхняя пластина заряжена отрицательно. Это придало нижней пластине положительный заряд за счет индукции, поскольку последняя подключена к земле. Эти положительные и отрицательные заряды удерживают или "связывают" друг друга, так что может накапливаться большое количество. Для увеличения емкости конденсатора используются несколько пластин, соединенных, как показано на рис. 210.

Любопытно, что тип изолятора между заряженными проводниками конденсатора влияет на его емкость. Таким образом, если между пластинами вместо воздуха будет стекло, парафин или пчелиный воск, пластины будут "удерживать" больше электричества при том же потенциале. По этой причине пластины конденсатора часто разделяют листами стекла, парафинированной бумаги или слюды.

FIG. 211.—A Leyden jar and a discharger.

Рис. 211.— Лейденская банка и разрядник.

232. Лейденская банка.—Удобной формой конденсатора, использовавшейся еще в 1745 году, является лейденская банка. Он состоит из стеклянной банки (рис. 211), частично покрытой изнутри и снаружи фольгой. Внутреннее покрытие соединено цепочкой с ручкой наверху. Лейденская банка заряжается путем подключения внешнего покрытия к земле, в то время как к внутреннему покрытию подается заряд любого вида электричества. Другой вид заряда образуется путем индукции на внешнем покрытии, и каждый заряд связывает другой. Чтобы разрядить банку, проводник в виде проволоки сначала подсоединяют к внешнему покрытию и удерживают там, пока другой конец подводят к ручке наверху. При соединении двух зарядов образуется яркая искра. Лучше всего не допускать, чтобы разряд

из банки проходил через тело, если только вы не уверены, что присутствует только очень небольшой заряд.

233. Колебательный разряд.—Разряд из лейденской банки - интересное явление. Прилив электричества от одного слоя к другому не прекращается, когда два слоя полностью нейтрализованы, а продолжается до тех пор, пока две пластины сначала не будут заряжены прямо противоположно своему состоянию, затем произойдет прилив электричества в противоположном направлении. Это чередование продолжается несколько раз и составляет то, что называется *колебательным разрядом*. (См. рис. 414.) Этот колебательный разряд создает волны в эфире. Они называются *волнами Герца* в честь их первооткрывателя Генриха Герца. Это эфирные волны, используемые в беспроволочной телеграфии. На фотографиях и другими способами было показано, что *вспышка молнии* носит колебательный характер. Этот факт подтверждает идею о том, что электрические условия, непосредственно предшествующие удару молнии, воспроизводят конденсатор в больших масштабах. Заряженное облако - это верхняя заряженная пластина, земля под ней, заряженная индукцией от облака, является нижней заряженной пластиной, в то время как воздух между ними является изолятором или *диэлектриком*, как его иногда называют.

Важные темы

1. Потенциал: высокий, низкий, нулевой, положительный, отрицательный, аналогичен температуре и давлению воздуха.

2. *Мощность* зависит от (1) площади, (2) индукции.

3. Конденсаторы, лейденская банка, параллельная пластина.

4. Колебательный разряд, условия, результаты.

Упражнения

1. Является ли воздух проводником? Объясните.

2. Может ли лейденская банка быть сильно заряжена, если наружный слой изолирован? Объясните.

3. От каких двух условий зависит работоспособность тела? Как в каждом конкретном случае?

4. Будет ли разряд молнии создавать беспроводные волны? Объясните.

5. Если на пластину электроскопа упасть острием вверх, то электроскоп быстро разряжается. Объясните.

(5) Электростатические генераторы

234. Статические электрические машины.—Было изобретено множество машин для производства большего количества статического электричества, чем мы использовали в ранее описанных экспериментах. Одной из самых ранних из них была *машина для трения пластин*, в которой вращалась большая круглая стеклянная пластина, а к ней прижималась прокладка из какого-либо материала. Эта машина была способна производить мощные эффекты, но для ее поворота требовалось много работы, и от нее отказались ради более эффективного устройства, *статической индукционной машины*.

235. Электрофорус - простейший генератор статической индукции, состоящий просто из плоской круглой пластины из какого-либо изолирующего материала, такого как парафин, шеллак или канифоль, находящейся в металлической емкости, и плоского круглого металлического *диска*, имеющего изолирующую ручку.....

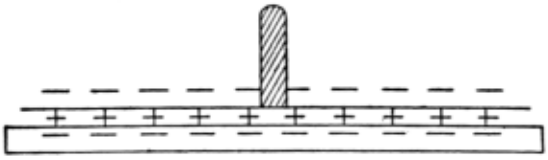


FIG. 212.—An electrophorus

Рис. 212.—электрофорез.

Электрофорус используется следующим образом: Пластину сначала электризуют путем трения или взбивания мехом или шерстяной тканью. Пластина будет заряжена отрицательно. Металлический диск помещают на пластину, удерживая за изолирующую ручку. Верхняя поверхность заряженного корпуса слегка неровная, так что диск касается лишь нескольких выступающих точек. Большая часть заряженной поверхности отделена от металлического диска воздухом, который является хорошим изолятором. Таким образом, заряд действует индуктивно на диск, *отталкивая отрицательное* электричество к верхней поверхности диска, оставляя нижнюю поверхность заряженной положительно (рис. 212). Если теперь пальцем прикоснуться к диску, отталкиваемый отрицательный заряд исчезнет, и весь диск останется заряженным положительно. Теперь диск извлечен (рис. 213), и заряд на нем можно протестировать или использовать любым желаемым способом. Диск можно перезаряжать много раз, не протирая пластину повторно.

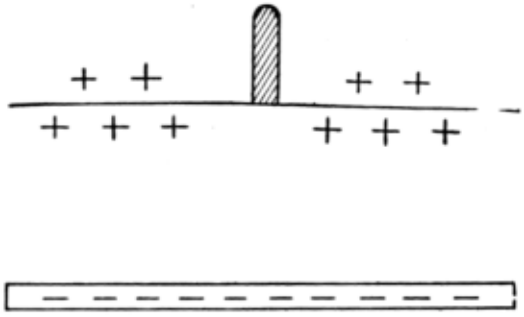


FIG. 213.—Electrophorus charged.

Рис. 213.—Заряженный электрофор.

Эти электрические заряды обладают *энергией*. Каков источник этой энергии? Ответ можно определить с помощью следующего эксперимента. Поместите диск на заряженную пластину. Прикоснитесь к диску пальцем, чтобы удалить отраженный заряд. Подсоедините электроскоп к диску с помощью тонкой проволоки. На электроскопе ничего не отображается, поскольку диск был подключен к земле и, следовательно, имеет нулевой потенциал. Если теперь диск медленно поднимать, то створки электроскопа постепенно расходятся, показывая, что при поднятии диска возникает электрический заряд, противодействующий силе притяжения между двумя зарядами. Точно так же, как потенциальная энергия вырабатывается в грузе, когда его поднимают вопреки земному притяжению, так и электрическая энергия появляется в диске, когда он отделяется от пластины. Следовательно, электрическая энергия заряда обусловлена работой, проделанной при разделении двух зарядов. Эта электрическая энергия проявляется в виде тепла и света, когда диск разряжается. Его можно использовать для воспламенения газа, пороха и т.д.

236. Индукционная машина Теплера-Хольца.— Это тип индукционной или воздействующей машины, которая часто используется для получения непрерывной подачи электроэнергии, например, при работе "рентгеновских" аппаратов, на лекционных демонстрациях и т.д. Эта машина (рис. 214) состоит из двух дисков: один неподвижный, другой установлен с возможностью вращения. На обратной стороне неподвижной пластины находятся два сектора фольги, которые заряжаются противоположно. На вращающейся пластине расположены шесть металлических дисков. Эти диски действуют подобно дискам электрофоруса. Они заряжаются индукционно от зарядов на секторах, прикрепленных к неподвижной пластине. Щетки, удерживаемые стержнем, касаются дисков как раз в нужный момент, чтобы снять отраженный заряд. Заряды, наведенные на диски, снимаются двумя металлическими гребенками, кончики которых расположены близко к вращающемуся диску. Лейденские банки помогают накапливать хороший сильный заряд до того, как между клеммами пробежит искра. Некоторые машины состоят из нескольких пар пластин и вырабатывают соответственно большое количество электроэнергии.

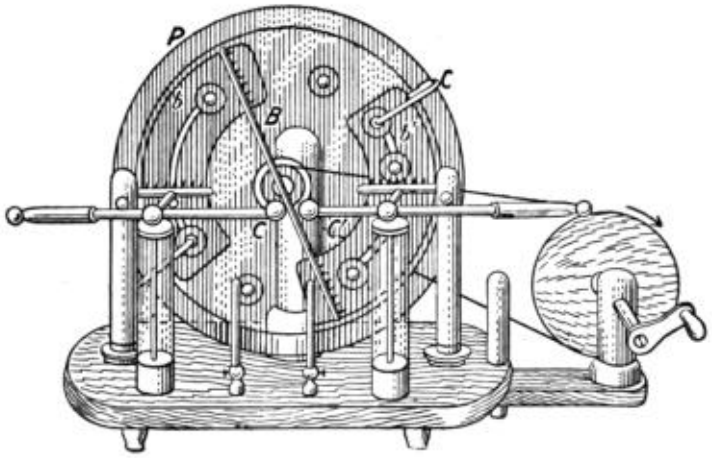


FIG. 214.—The Toepler-Holtz induction machine.

Рис. 214.—Асинхронная машина Теплера-Хольца.

Важные темы

Генераторы статического электричества.— (а) пластинчатая машина трения, (б) электрофорус, (в) индукционная машина или машина воздействия.

Упражнения

1. Потенциал похож на какие другие термины, которые мы изучали?

2. Какие три электрических явления лучше всего понять при изучении силовых линий?

3. Сколько зарядов может быть произведено электрофорусом, прежде чем пластину нужно будет снова наэлектризовать? Объясните.

4. Статическую индукционную машину часто называют "электрофорной непрерывного действия". Почему?

5. Лейденские банки, используемые с индукционной машиной, вызывают гораздо более яркие искры, чем без них. Объясните.

6. Увеличится или уменьшится частота, с которой искры проходят между ручками, при извлечении лейденских банок? Объясните.

7. Упомяните три сходства и три различия между магнетизмом и статическим электричеством.

8. Испытаете ли вы больший шок, прикоснувшись к ручке заряженной лейденской банки, когда держите ее в руке или когда она стоит на стеклянном листе? Объясни.

9. Каким образом электрический заряд может быть разделен на три равные части?

План обзора: Магнетизм и статическое электричество

Сравнение магнетизма и статического электричества.

Вещества бывают:	магнитные, немагнитные.	проводники, изоляторы.
Образуются путем:	индукции.	трение, или индукция.
Теория:	молекулярная.	электронная. (текучие)
Силовые поля Объясняют:	притяжение, отталкивание, индукция, действие компаса.	притяжение, отталкивание, индукция.
Термины:	магнитоскоп, наклон, склонение, полюс, удерживающая способность, проницаемость, магнит, магнитный меридиан.	электроскоп, электрон, положительный, отрицательный, потенциал, емкость, конденсатор, электрофорез, колебательный разряд, молния.
Сходство: оба:	*a*— создаются индукцией, *b*— притягивают и отталкивают, *c*— имеют силовые поля.	
Отличия:	*a*—электричество можно *проводить*, магнетизм - нет. *b*—электричество во *всех веществах*, магнетизм в немногих. *c*—магнетизм с компасом указывает направление.	

ГЛАВА XI

ТЕКУЩЕЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

(1) Электрические токи и цепи

237. Источники электрического тока.—При изучении производства и распределения статического электричества было замечено, что если два тела с *разными потенциалами* соединены медным проводом, то по проводящему проводу происходит *движение электричества к телу,* имеющему *более низкий потенциал*. Это движение электричества называется *электрическим током* (статья 227). Поэтому *разность потенциалов* часто называют *электродвижущей силой* (Э.М.Ф.), поскольку она вызывает движение электричества в проводнике. Ток между двумя *противоположно заряженными* телами длится столь короткое время, что практически не имеет никакой ценности, если не будут найдены какие-либо средства для постоянной подзарядки тел. То есть необходимо использовать какое-либо устройство для восстановления разницы потенциалов так быстро, как ее выравнивает проводящий провод. Требуется постоянная зарядка тел. Другими словами, для производства электрического тока требуется постоянное расходование некоторой формы энергии (которая преобразуется в электрическую энергию). Для этой цели обычно используются две формы энергии.

(A) *Химическая энергия* используется в *гальванических элементах* для производства электрического тока. (B) *Механическая энергия* используется для той же цели в *динамо-машине* и аналогичных устройствах.

238. Вольтов элемент назван в честь Вольты, итальянского физика, который в 1800 году изобрел его. В своей простейшей форме он состоит из полоски меди и полоски цинка, помещенных в разбавленную серную кислоту (одна часть кислоты на пятнадцать-двадцать воды) (рис. 215). С помощью чувствительного прибора можно показать, что медная пластина гальванического элемента имеет положительный заряд, а цинковая пластина - отрицательный. Например, пусть плоская пластина диаметром 10 см будет помещена на ручку электроскопа, а аналогичная пластина, покрытая шеллаком и снабженная изолирующей ручкой, будет установлена на ней в виде конденсатора. (См. рис. 216.) Если теперь провода от двух пластин простого гальванического элемента соответственно подсоединить к пластинам конденсатора, заряды от медной и цинковой пластин будут накапливаться на двух пластинах конденсатора. Теперь снимите провода и поднимите верхнюю пластину. "Связанный" заряд на нижней пластине распространится по листьям и приведет к их разделению. После тестирования будет обнаружено, что заряд цинковой пластины *отрицательный*, а заряд медной пластины - *положительный*. Поскольку на медной пластине находится положительный заряд, она называется *положительным электродом*; цинковая пластина называется *отрицательным электродом*.

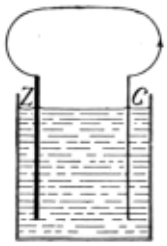


FIG. 215.—Cross-section of a simple voltaic cell.

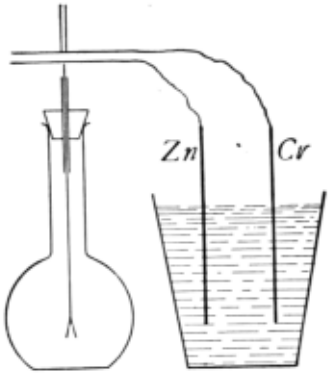


FIG. 216.—Testing the charges upon the plates of a simple voltaic cell.

Рис. 215.— Поперечное сечение простого гальванического элемента.
Рис. 216.Проверка зарядов на пластинах простого гальванического элемента.

239. Испытание на наличие электрического тока.—Если медная и цинковая пластины гальванического элемента соединены проводом, в проводнике возникает электрический ток. Измерение тока можно получить, удерживая проводящий провод над иглой магнитоскопа параллельно ей. Игла отклоняется под действием параллельного ей тока (рис. 217). Этот *магнитный эффект* тока является средством, обычно используемым для *обнаружения* и *измерения* электрического тока. Такое устройство, которое обнаруживает электрический ток по его *магнитному эффекту, называется гальваноскопом*в честь Гальвани, который в 1786 году первым открыл, как производить электрический ток.

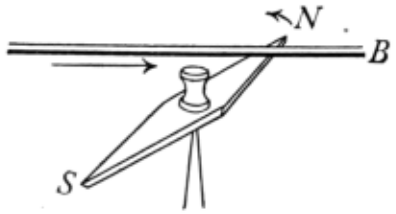


FIG. 217.—The magnetic needle is deflected by the current.

Рис. 217.— Магнитная стрелка отклоняется током.

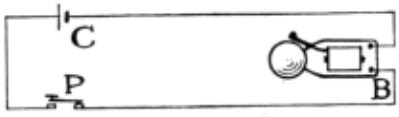


FIG. 218.—Diagram of an electric bell circuit.

Рис. 218.—Схема электрического звонка.

240. Электрическая цепь.—*Весь проводящий путь, по которому протекает электрический ток, называется электрической цепью.* В случае гальванического элемента схема включает в себя не только провода, соединяющие пластины, но и сами пластины и жидкость между ними. Когда какое-либо устройство должно получать ток от ячейки, оно прикрепляется к пластинам и проводам таким образом, что устройство является частью электрической цепи. Разделение цепи в любой точке называется *разрывом* или *размыканием* цепи, в то время как соединение концов разомкнутой цепи называется *созданием* или *замыканием* цепи. Устройство для размыкания и замыкания цепи называется *ключом* или *выключателем*. Электрическая цепь, используемая для звонка в дверь, знакома большинству мальчиков и

девочек. Большую часть времени эта цепь *разомкнута*. Он закрывается нажатием *кнопки* на двери, и подача тока через *электрический звонок* вызывает его звон. Такая схема представлена на рис. 218. Здесь *C* - гальванический элемент, две линии представляют пластины элемента. Вид кнопки в поперечном сечении (*P*) показывает, как замкнута цепь, (*B*) - это звонок. Везде, где используется текущее электричество, устройство, в котором оно используется, образует часть электрической цепи, идущей обратно к какому-либо электрическому генератору. Этот генератор должен быть способен непрерывно вырабатывать электромагнитное поле, или разность потенциалов между его выводами, чтобы передача электроэнергии могла быть непрерывной.

Важные темы

(a) Электрические генераторы: (1) гальванический элемент использует химическую энергию; (2) динамо-машина использует механическую энергию.

(b) Электрические цепи: (1) разомкнутые, (2) замкнутые, (3) ключ и выключатель.

(c) Вольтовое и гальваническое электричество (названия).

(d) Гальваноскоп, использование.

Упражнения

1. В каких *двух* отношениях статическое электричество и электричество тока похожи? В каких двух различаются?

2. Нарисуйте схему электрического звонка в вашем доме. Укажите расположение электрического звонка, электрогенератора и кнопки. Покажите соединительные провода и кратко объясните, как работает схема.

3. Представьте какую-либо другую электрическую цепь, назвав генератор и другие устройства в цепи.

4. Просмотрите работы Вольты и Гальвани и напишите описание сделанных ими открытий и изобретений в области электротехники.

(2) Гальванический элемент и его действие

241. Простой гальванический элемент состоит из полосы меди и полосы цинка, помещенных в разбавленную серную кислоту. (См. рис. 219.) Через короткое время после помещения пластин в кислоту на поверхности цинка появляются пузырьки газа (водорода). Эти пузырьки увеличиваются в размере, а некоторые поднимаются к поверхности жидкости. Намедной пластинке ничего не появляется. Если верхние части пластин соединены проводом, через провод и элемент подается электрический ток, и пузырьки газа появляются как на *меди*, так и на цинке. За короткое время поверхность меди покрывается пузырьками, и ток становится намного *слабее*. Если пластины оставить в кислоте на некоторое время, обнаруживается, что цинк разъедается, поскольку он был растворен в кислоте в результате химического воздействия. Однако медь остается практически незатронутой.

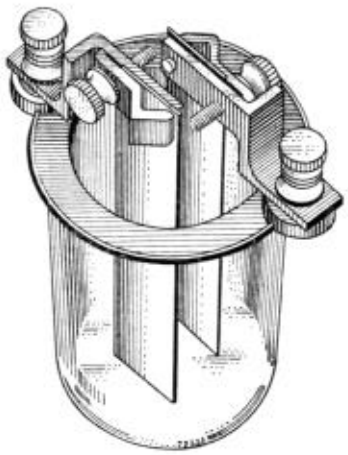


FIG. 219.—A simple voltaic cell.

Рис. 219.— Простой гальванический элемент.

242. Как вырабатывается ток.—Для поддержания электрического тока требуется постоянная подача энергии. Это обеспечивается *химическим действием* кислоты на цинк. Химическое действие в нескольких отношениях подобно *горению* или *горению*, посредством которого химическая энергия преобразуется в тепловую энергию. В гальваническом элементе химическое воздействие кислоты на цинк *преобразует* химическую энергию в электрическую. Э.М.Ф. или *разность потенциалов* можно рассматривать как возникающее на поверхности цинка, где происходит химическое воздействие. В этот момент цинк имеет более низкий потенциал, а жидкость, находящаяся в контакте с ним, - более высокий. Считается, что молекулы кислоты разделены или расщеплены на две части, называемые *ионами*; один ион, SO_4 или *сульфион*, соединяется с цинком, образуя сульфат цинка, другой, или ион водорода (H), переходит на медную пластину и накапливается на поверхности этой пластины, придавая ей положительный заряд. Поэтому его называют *положительным ионом*. Сульфион-ион, или примерно $_4$ ион, несет отрицательный заряд цинку. Поэтому его называют *отрицательным ионом*.

243. Направление течения.[K]—Начиная с поверхности цинка, *направление* движения *положительного* электричества можно проследить через жидкость к медной пластине, к проводу, к цинковой пластине, к начальной точке, замыкая таким образом электрическую цепь. Когда цепь замкнута, обнаруживается, что движение электричества начинается во *всех* частях цепи практически *в одно и то же мгновение*.

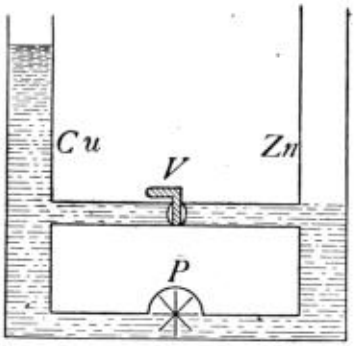


FIG. 220.—A comparison of a voltaic cell and circuit to a water pump and connecting pipes.

Рис. 220.—Сравнение гальванического элемента и схемы с водяным насосом и соединительными трубами.

244. Создание тока может быть проиллюстрировано описанием устройства для обеспечения непрерывной циркуляции воды. Таким образом, пусть *Cu* и *Zn* представляют собой две трубы, соединенные двумя горизонтальными трубками, одна из которых под углом *V* снабжена клапаном, а другая под углом *P* с роторным *насосом*. (См. рис. 220.) Предположим, что трубы заполнены до уровня *V* и насос запущен. Насос нагнетает воду из *Zn* в *Cu* через *P*, при этом уровень *Zn* падает, а уровень *Cu* повышается. Если клапан *V* открыт, вода будет поступать обратно через *V*, пока насос работает. Если *V* закрыт, уровень в *Cu* поднимется настолько высоко, насколько это возможно за счет движущей силы насоса. Если теперь открыть *V*, насос будет поддерживать циркуляцию воды от *Cu* до *Zn* через *V*. На рисунке трубки *Cu* и *Zn* соответствуют проводящим пластинам из *меди* и *цинка* гальванического элемента. Насос *P* представляет собой химическое воздействие, которое создает электрическое давление. Верхняя труба представляет собой часть цепи за пределами ячейки, клапан *V* соответствует электрическому ключу или выключателю, который используется для размыкания и замыкания электрической цепи.

245. Поляризация.—В простом гальваническом элементе после замыкания цепи на медной пластине собираются пузырьки водорода. Это накопление газообразного водорода называется *поляризацией*. Он действует как непроводящий слой на поверхности пластины и серьезно препятствует передаче электричества от жидкости к медной пластине не только в простом гальваническом элементе, но и во многих других. Некоторые гальванические элементы полностью лишены этого дефекта либо (а) *путем удаления водорода так же быстро, как он образуется*, либо (б) *с использованием таких химических веществ, что водород не образуется*.

246. Локальные действия.—Замечено, что когда полоску цинка помещают в разбавленную кислоту, на поверхности цинка появляются пузырьки. Появление этих пузырьков указывает на то, что часть ионов водорода, несущих положительное электричество, переместилась на цинковую пластинку. При тщательном осмотре пластины после того, как она побывала в кислоте, на ней видны многочисленные черные пятна. Это частицы углерода. Они всегда присутствуют в обычном цинке. Создаются небольшие электрические токи, которые проходят от молекул чистого цинка в жидкость и обратно к частицам углерода, образуя таким образом небольшие замкнутые цепи. (См. рис. 221.) Образование этих цепей от цинка и к цинку называется *местным* действием. Это действие является дефектом гальванических элементов, поскольку таким образом часть тока не проходит через основную внешнюю цепь, и цинк может расходоваться даже при отсутствии внешнего тока.

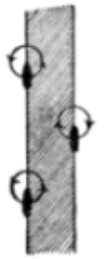


FIG. 221. Local action.

Рис. 221.—Локальное воздействие.

247. Амальгамирование.—Местное воздействие предотвращается путем покрытия цинка ртутью. Этот процесс называется *амальгамацией*. Ртуть покрывает всю поверхность пластины в кислоте. Его действие заключается в растворении чистого цинка и выведении его на внешнюю поверхность, где на него воздействует кислота. Частицы углерода остаются

закрытыми, чтобы не образовывались локальные токи, пока частицы углерода находятся под поверхностью. Таким образом, амальгамация предотвращает локальное воздействие.

Важные темы

Простой гальванический элемент

1. Две пластины: цинк, медь; электролит, разбавленная серная кислота.

2. Ионы: водород, положительные: сульфион, отрицательные.

3. Текущее состояние, где и как произведено, направление, иллюстрация.

4. Поляризация: лечение, местное действие, излечение.

Упражнения

1. Напишите своими словами отчет о производстве электрического тока простым гальваническим элементом. Используйте эскизы.

2. Какая пластина обладает более высоким потенциалом? Как она производится?

3. Ожидаете ли вы получить E.M.F., сформировав ячейку из двух медных пластин? Почему?

(3) Практические гальванические элементы

248. Преимущества гальванических элементов.—Разработано множество форм гальванических элементов. Будут описаны некоторые из наиболее распространенных из них и объяснено их электрохимическое действие.

В настоящее время гальванические элементы используются только там, где требуются небольшие токи, например, для электрических звонков и индукционных катушек. Там, где требуется более чем небольшое количество тока, динамо-машина и аккумуляторная батарея обычно занимают свое место в качестве источников электрического тока.

Преимущества гальванических элементов в качестве электрических генераторов заключаются в следующем: (a) они недороги, (б) их легко переносить с места на место, (в) они могут быть готовы к немедленному использованию.

Наиболее желательным гальваническим элементом был бы элемент, обладающий следующими качествами: (a) высокой электродвижущей силой, (b) отсутствием поляризации или локального воздействия, (c) очень низким внутренним сопротивлением, (d) небольшими затратами как на первоначальные затраты, так и на техническое обслуживание.

FIG. 222.—The Leclanché cell, "wet" type.

Рис. 222.— Ячейка Лекланше "мокрого" типа.

249. Ячейка Лекланше обычно используется для звонка в дверь. Он состоит из двух пластин: одной из цинка, а другой из *углерода*. Их помещают в раствор нашатырного спирта (рис. 222). Приобретают желаемые качества, упомянутые в конце предыдущего параграфа. (a) Можно показать, что эта ячейка имеет хорошее электромагнитное сопротивление около 1,5 Вольт. (b) Он *легко*поляризуется, но при этом хорошо восстанавливается, если оставить его в разомкнутом контуре. Обычно к углероду смешивают вещество, называемое диоксидом марганца. Он действует как *деполяризатор*, то есть соединяется с водородом с образованием воды. (c) Его устойчивость различна и часто значительна. (d) расходы на техническое обслуживание невелики, поскольку 5-центовый цинковый стержень и 5-центовая доза нашатырного спирта обеспечат работу элемента по колоколообразному контуру от шести месяцев до года и более. Он хорошо подходит для использования в *разомкнутых цепях,*то есть там, где цепь разомкнута большую часть времени и замыкается лишь изредка; например, при звонке в дверь, работе телефонов и других устройств, цепи которых обычно разомкнуты.

250. Сухая ячейка.— Производится множество форм ячеек Лекланше. Одна из них называется *сухой ячейкой* (см. рис. 223). В этой ячейке цинковая пластина изготавливается в виде банки и содержит другие материалы. В центре ячейки находится стержень из углерода и диоксида марганца. Пространство между углеродом и цинком заполняется пористым материалом, таким как древесные опилки или парижская штукатурка. Пористый материал заполняется крепким раствором нашатырного спирта. Верхняя часть ячейки герметизируется смолой или воском для предотвращения испарения. Большим преимуществом этого элемента является то, что его можно использовать или переносить в любом положении без опасности расплескивания содержимого. Сухие элементы часто используются для управления катушками зажигания газовых и бензиновых двигателей. Камера Лекланше, описанная в статье 249, широко известна как "влажная камера".

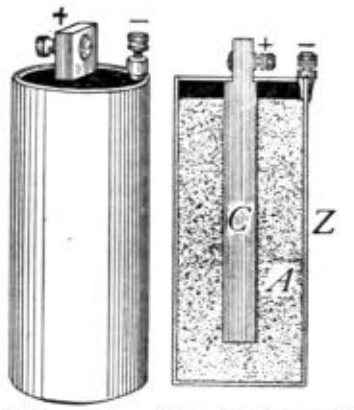


FIG. 223.—The Leclanché cell, "dry" type.

Рис. 223.— Ячейка Лекланше "сухого" типа.

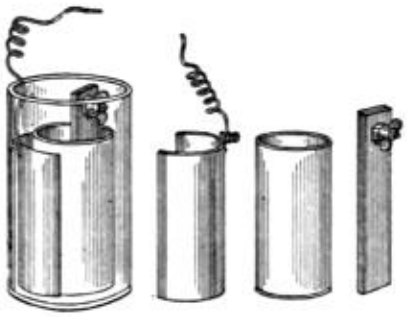


FIG. 224.—The Daniell cell.

Рис. 224.—Ячейка Даниэля.

251. Ячейка Даниэля.— Эта ячейка часто используется в лабораториях и в замкнутых цепях, таких как те, которые связаны с пожарной и охранной сигнализацией и телеграфными линиями. Он состоит из двух пластин из цинка и меди, помещенных в две разные жидкости, которые разделены пористой глиняной чашкой (рис. 224). Цинковый стержень хранится в растворе сульфата цинка, содержащемся в пористой чашке. Медная пластинка находится в растворе медного купороса, заполняющем остальную часть стеклянной банки. В отличие от ячейки Лекланше, эта должна находиться в *замкнутом контуре* для наилучшей работы, поскольку две жидкости смешиваются при разомкнутом контуре. Если разобраться в его качествах, то (a) его электромагнитное сопротивление составляет около одного вольта, (б) у него нет поляризации, поскольку на медную пластину нанесена медь вместо водорода. Следовательно, из него можно получить однородный E.M.F., что делает его особенно полезным в лабораторных экспериментах и тестах. (c) его стойкость значительна и (d) он более дорогой в эксплуатации, чем Leclanché. Иногда он используется в замкнутых цепях за пределами лабораторий, например, в охранных и пожарных сигнализациях, хотя в последние годы его место для этих целей занимает аккумуляторная батарея.

252. Гравитационная ячейка.—Рис. 225 во многом похожа на ячейку Даниэля, за исключением того, что в этой ячейке цинковая пластина удерживается в верхней части банки в растворе сульфата цинка, в то время как медная пластина находится внизу, окруженная раствором сульфата меди. Растворы перемешиваются, но медленно, поскольку раствор медного купороса более густой и остается на дне. Эту камеру, как и Daniell, также необходимо поддерживать в замкнутом контуре. Из-за своей простоты и экономичности он часто используется для управления телеграфными приборами. Его характеристики аналогичны характеристикам ячейки Daniell.

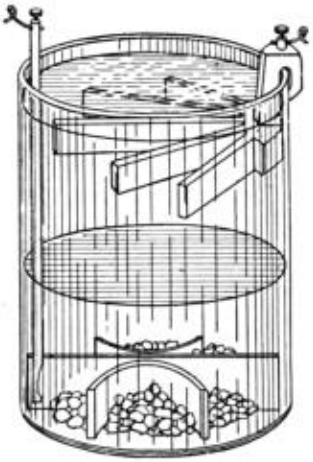


FIG. 225.—The gravity cell.

Рис. 225.—гравитационная ячейка.

253. Обозначение гальванических элементов.—На электрических схемах символ, используемый для обозначения гальванического элемента, представляет собой короткую толстую линию, расположенную рядом с более длинной тонкой линией и параллельную ей. Как показано на рис. 226. Если необходимо представить несколько элементов, то условный символ комбинации представлен, как на рис. 227. Каждый отдельный элемент и группу элементов часто называют батареей.

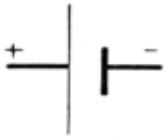


FIG. 226.—Diagram of a single cell.

FIG. 227.—Diagram of a group of cells.

Рис. 226.—Схема отдельной ячейки.
Рис. 227.—Схема группы ячеек.

254. Действие электрических токов.—Изучив некоторые устройства для получения электрического тока, давайте теперь рассмотрим некоторые из вызываемых им *эффектов*. Эти эффекты будут изучаться по трем разделам: (а) *магнитные*, (б) *химические* и (в) *тепловые* эффекты. Устройствами или изделиями, демонстрирующими эти эффекты, известными большинству старшеклассников, являются соответственно: (а) *электромагнит* (б) *серебряные изделия с гальваническим покрытием* и (в) *электрические нагреватели*, такие как электрические утюги, электрические тостеры и т.д. *Магнитный* эффект электрического тока был впервые обнаружен Эрстедом в Копенгагенском университете в 1819 году. Это можно наблюдать, держа провод, по которому проходит ток от гальванического элемента, над и *параллельно* игле *магнитоскопа*. Игла сразу отклоняется (рис. 228). При изменении направления тока стрелка магнитоскопа отклоняется в обратном направлении. Это простое устройство является наиболее распространенным средством обнаружения электрического тока. Таким образом, оно представляет собой *гальваноскоп*. (См. статью 239.)

FIG. 228.—A galvanoscope.

Рис. 227.—Схема группы ячеек.Рис. 228.— гальваноскоп.

Важные темы

1. Ячейки Лекланше, (а), влажные, (б), сухие, конструкция, преимущества, применение.

2. Ячейки Daniell и gravity, конструкция, преимущества, применение.

3. Три эффекта электрического тока, иллюстрации.

4. Гальваноскоп, использующийся.

Упражнения

1. Объясните, как с помощью компаса можно определить направление тока в проводе.

2. Ожидаете ли вы получить ток от элемента из цинка и меди, содержащего раствор обычной соли? Проведите эксперимент.

3. Какие условия в гальваническом элементе дадут постоянную электродвижущую силу.

4. Какие условия в гальваническом элементе дадут сильную электродвижущую силу.

5. Назовите три различных электрических цепи, о существовании которых вы знаете. Какие из них являются *разомкнутыми*, а какие - *замкнутыми*?

6. Используются ли в вашем доме электрические элементы? Если да, то для каких целей они используются? В разомкнутых или замкнутых цепях? Вы их видели? какого они вида?

ГЛАВА XII

МАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

(1) Магнитное действие электрических токов

255. Магнитный эффект.—Из всех эффектов электрического тока обычно признается, что *магнитный эффект* имеет *наибольшее практическое значение*, а также используется наиболее широко. Эксперимент, иллюстрирующий этот эффект, был описан в статье 239. Этот эксперимент показывает, что электрический ток, если он *параллелен* магнитной стрелке и *находится рядом с ней*, будет отклонять северный полюс стрелки вправо или влево в зависимости от *направления* протекания тока. Это *отклонение* магнитной стрелки связано с тем фактом, что каждый электрический ток окружен магнитными силовыми линиями. Именно это магнитное поле тока заставляет стрелку вращаться. Положение, занимаемое стрелкой, является равнодействующей сил двух магнитных полей: одного - поля земли, другого - поля тока.

256. Правило правой руки для дирижера.—Чтобы показать наличие магнитного поля, связанного с током, пропустите толстый медный провод вертикально через лист бумаги и подсоедините концы провода к источнику тока. Пока течет ток (он должен быть по возможности не менее 10 ампер), посыпьте бумагу железными опилками и осторожно постучите. Опилки расположатся по кругу вокруг проволоки, показывая магнитное поле. (См. рис. 229.) Игла магнитоскопа стремится расположиться параллельно силовым линиям этого поля, и по этому действию или тенденции можно определить *направление* магнитных линий относительно тока. Полезно следующее правило, которое следует запомнить: *Возьмитесь за проводник правой рукой с вытянутым большим пальцем в направлении, по которому течет ток. Затем пальцы обхватят проволоку в направлении силовых линий.* Это правило может быть отменено, поскольку, если пальцы правой руки возьмутся за провод так, чтобы направлять магнитное поле, то ток течет в том направлении, в котором указывает большой палец. (См. рис. 230.)

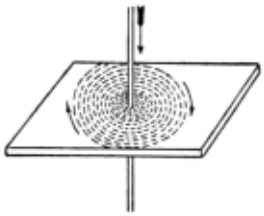


Fig. 229.—Magnetic field about a wire carrying an electric current.

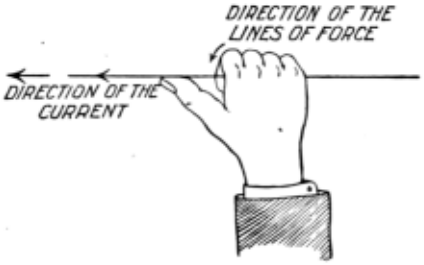


Fig. 230.—Right-hand rule for the magnetic field of a current.

Рис. 229.— Магнитное поле вокруг провода, по которому течет электрический ток.
Рис. 230.— Правило правой руки для магнитного поля тока.

257. Магнитное поле спирали.—Если проволоку намотать на цилиндр с образованием цилиндрической катушки с параллельными витками, она образует *спираль* или *соленоид*. Форма магнитного поля вокруг тока зависит от *формы* проводника. Если последний имеет форму *спирали*, то его магнитное поле напоминает магнитное поле прямого стержневого магнита. (См. рис. 231). Фактически спираль *обладает свойствами магнита* с полюсами, направленными на север и юг, в то время как через нее *течет ток*. Если такая катушка подвешена так, чтобы свободно вращаться, она имеет тенденцию вращаться до тех пор, пока

поле внутри нее не станет параллельным магнитному полю Земли. Следовательно, такую подвешенную спираль можно использовать в качестве компаса. Чтобы усилить магнитное поле спирали или соленоида, пространство внутри ее витков заполняется железом, часто в виде небольших проволочек из мягкого железа. Этот пучок железной проволоки называется *сердцевиной* спирали. Сердечник сильно намагничивается полем спирали во время протекания тока и быстро теряет свою магнитную силу, когда ток прекращается. *Направление тока в спирали* (рис. 232) или *полярность* ее сердечника могут определяться другим *правилом правой руки*. *Если за спираль взяться правой рукой так, чтобы пальцы указывали в направлении, в котором течет ток, вытянутый большой палец будет указывать в направлении северного полюса спирали.* С другой стороны, если известны полюса спирали, то, когда спираль берется правой рукой так, чтобы большой палец указывал на северный полюс, ток течет по проводам в направлении, указанном пальцами.

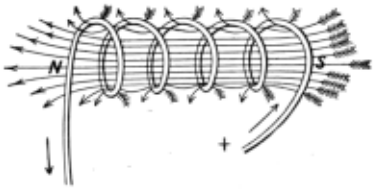


Fig. 231.—The magnetic field of a helix.

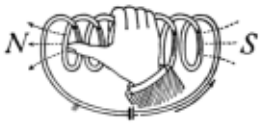


Fig. 232.—Right-hand rule for a helix.

Рис. 231.—Магнитное поле спирали.
Рис. 232.—Правая линейка для спирали.

258. Электромагнит.— Эти "правила правой руки" применяются во многих различных устройствах. Среди них, пожалуй, наиболее важным является электромагнит, который используется в электрическом звонке, телеграфе, телефоне, динамо-машине, двигателе и многих других электрических устройствах.

Электромагнит определяется как *масса железа, вокруг которой размещена спираль для проведения электрического тока*. Из-за своей большой проницаемости железный сердечник спирали значительно повышает эффективность электромагнита, поскольку магнетизм железа добавляется к току в спирали. Магнетизм, остающийся в железе после прекращения подачи тока, называется *остаточным* магнетизмом. Остаточный магнетизм невелик, когда сердечник сделан из небольших проволочек или тонких пластин, но больше, когда железный сердечник твердый. Как и искусственные стальные магниты, электромагниты обычно бывают двух форм: *стержень* и *подкова*. (См. рис. 233 и 234.) Для большинства целей подковообразная форма более эффективна, поскольку позволяет создать полный железный контур для магнитных силовых линий. (См. рис. 235.) Такая форма используется в электрическом звонке, в телеграфном эхолоте и в подъемных магнитах. (См. рис. 236.)

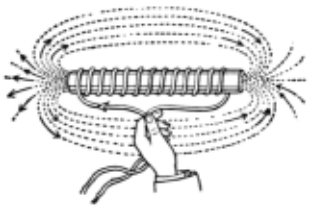


Fig. 233.—A bar electromagnet.

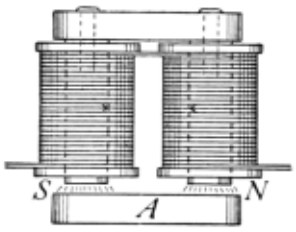


Fig. 234.—A horseshoe electromagnet.

Рис. 233.—стержневой электромагнит.
Рис. 234.— подковообразный электромагнит.

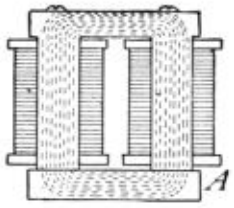


Fig. 235.—A horseshoe electromagnet may have a complete iron circuit for its lines of force.

Fig. 236.—A lifting magnet.

Рис. 235.— подковообразный электромагнит может иметь полную железную цепь для своих силовых линий.
Рис. 236.—Подъемный магнит.

259. Эффективные электромагниты.— *Магнитный* эффект тока в спирали невелик, поэтому силу обычно увеличивают, вставляя железный сердечник. Когда сначала человек попытался подать сигнал с помощью электромагнитов на расстоянии, было обнаружено, что ток не приводит в действие электромагнит. Американец по имени Джозеф Генри открыл средство от этого состояния. Он обнаружил, что если медный провод изолировать, обернув его шелковой нитью, а затем намотать много слоев провода с шелковой изоляцией на катушку с железным сердечником, то магнит будет работать на большом расстоянии от источника тока. Если ток увеличивается, магнит становится сильнее, чем вначале. Таким образом, *электромагнит можно усилить,* (а) *увеличив количество витков проволоки в его катушках* и (б) *пропустив через него более сильный ток*.

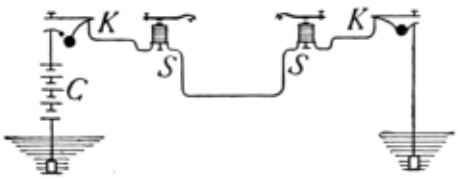


Fig. 237.—A simple telegraph circuit.

Рис. 237.— Простая телеграфная схема.

260. Телеграф.—Изобретение Генри эффективного электромагнита сделало возможным *электрический телеграф*. В своей простейшей форме он состоит из батарейки, *C*, ключа, *K*, и эхолота, *S*, с соединительными проводами. (См. рис. 237.) *Эхолот* (рис. 238) содержит *подковообразный электромагнит* и стержень из мягкого железа поперек его полюсов, называемый якорем, *A*, прикрепленный к рычагу *L*. Когда ключ закрыт, электромагнит опускает якорь и рычаг до упора *O*, издавая щелчок. Когда ключ поднят, магнит освобождает якорь, который поднимается под действием пружины на *S* до тех пор, пока рычаг не упрется в точку *T*, производя еще один щелчок. Замыкание и размыкание цепи в точке *K* запускает и останавливает ток, действующий на *S*, которые могут находиться на расстоянии 100 миль или более от *K*. Один гальванический элемент будет работать как эхолот в той же комнате. Но если в цепи много миль проводов, электромагнитное излучение одной ячейки не будет пропускать достаточный ток по длинному проводу для работы эхолота.

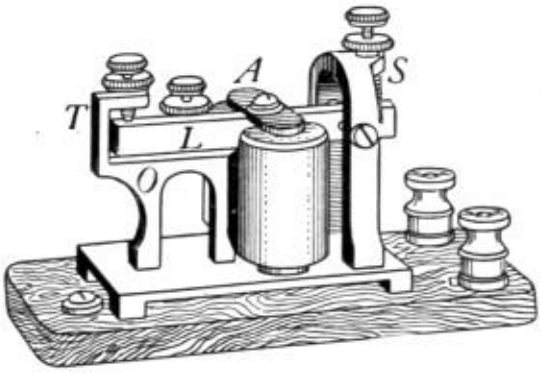


Fig. 238.—A telegraph sounder.

Рис. 238.—телеграфный эхолот.

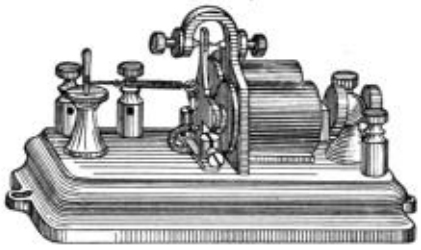


FIG. 239.—A telegraph relay.

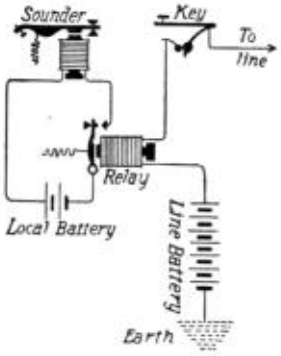
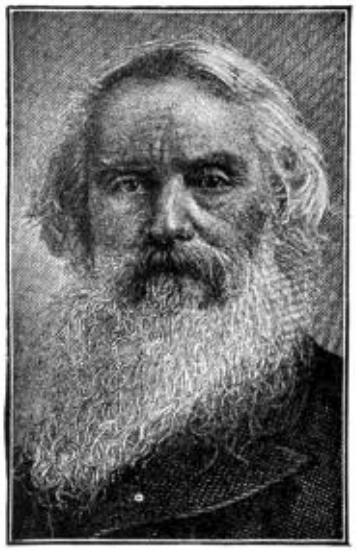


FIG. 240.—How the relay is used.

Рис. 239.— Телеграфное реле.
Рис. 240.—Как используется реле.



SAMUEL F. B. MORSE
"From Appleton's Cyclopedia of American Biography, Copyright 1888 by D. Appleton & Co."

Сэмюэл Ф. Б. Морзе (1791-1872). Изобретатель электромагнитного записывающего телеграфа и алфавита с точками и тире.

Сэмюэл Ф. Б. Морс
"Из американской биографической энциклопедии Эпплтона, авторское право 1888 года, D. Appleton & Co."

THOMAS A. EDISON
"Copyright, Photographische Gesellschaft," and "By Permission of the Berlin Photographic Co., New York."

Томас А. Эдисон, Оранж, Нью-Джерси. Изобрел лампу накаливания; фонограф; движущийся фильм; самый известный изобретатель электроприборов современности.

ТОМАС А. ЭДИСОН
"Авторское право, Фотографическое общество" и "С разрешения Берлинской фотографической компании, Нью-Йорк".

В этом случае требуется батарея из нескольких элементов. Даже большой батареи недостаточно для работы с длинной линией, содержащей множество эхолотов в цепи. Поэтому обычно прибегают к более чувствительному устройству, называемому *реле*. (См. рис. 239.) В реле очень небольшой ток намагничивает его электромагнит настолько, что притягивает к нему изящно подвешенный якорь, тем самым замыкая вторую цепь, которая содержит эхолот и аккумулятор. (См. рис. 240.) когда ток в основной цепи прекращается, якорь реле оттягивается назад легкой пружиной. Это открывает *местный* канал. Таким образом, локальная цепь замыкается и размыкается реле как раз вовремя с запуском и прекращением тока в основной линии. Таким образом, при небольшом токе в основной линии с помощью реле можно замыкать и размыкать вторую локальную цепь, содержащую локальную батарею и эхолот. Современные телеграфные линии эксплуатируются именно таким образом.

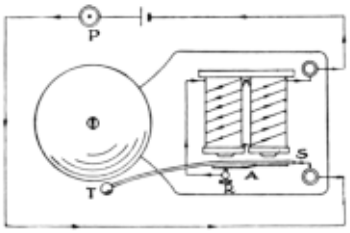


FIG. 241.—An electric bell and its circuit.

Рис. 241.—Электрический звонок и его схема.

261. Электрический звонок (см. рис. 241), состоит из электромагнита, *M*, *якоря*, *A*, attached to the *tapper*, *T*, and a post, *R*. When no current is flowing a spring at *S* holds the armature against the post *R*. When current flows through the helix, its core becomes magnetized and attracts the

armature, drawing it away from the post, *R*, и заставляющий стучащего нажимать на звонок. Однако отвод *A* от столба приводит к разрыву цепи в точке *R*, и ток прекращается. Магнетизм в сердечнике исчезает, высвобождая якорь, который затем оттягивается пружиной *S* к стойке *R*. На этом цепь замыкается, и процесс повторяется несколько раз в секунду, пока течет ток.

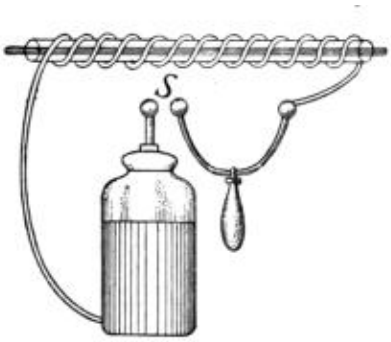


FIG. 242.—Magnetizing by the discharge of a Leyden jar.

Рис. 242.— Намагничивание разрядом лейденской банки.

262. Сравнение статического и текущего электричества. Сходство между разрядом статического электричества и электрическим током можно продемонстрировать, намотав катушку изолированного провода на стеклянную трубку, содержащую стальную иглу. Если лейденскую банку (см. рис. 242) разряжать через катушку, то обычно обнаруживается, что стальная игла намагничена, что показывает, что разряд статического электричества оказывает магнитное действие, аналогичное действию электрического тока. Иногда данный конец иглы имеет северный полюс, а в других случаях - южный. Считается, что это указывает на то, что заряд лейденской банки является *колебательным*, и что при различных разрядах иногда скачок напряжения в одном направлении, а иногда скачок напряжения в обратном направлении был наиболее эффективным для намагничивания иглы. Сравните это действие с тем, которое описано в статье 233.

Важные темы

1. Правила для правой руки, для проводника, для спирали.

2. Электромагнит, двух форм, где используется?

3. Сходство между статическим электричеством и текущим электричеством.

4. Электрический звонок, детали, действие.

5. Телеграф, ключ, эхолот, реле.

Упражнения

1. В чем разница между электрическим зарядом и током?

2. Как электрический заряд может вызвать магнитный эффект?

3. Что такое магнитное поле? Приведите два доказательства наличия магнитного поля относительно тока в проводе?

4. Ток течет на север по троллейбусному проводу, каково направление магнитного поля под проводом? Объясните.

5. Какой был бы результат, если бы в электромагнит поместили сердечник из твердой стали? Объясните.

6. Если северный полюс спирали обращен к вам, движется ли ток в катушках перед вами по часовой стрелке или против часовой стрелки? Объясни.

7. Спираль расположена горизонтально полюсом, направленным на север. Ток в проводе в верхней части спирали движется на восток или запад? Объясни.

8. Укажите по крайней мере шесть условий, любое из которых выведет из строя цепь электрического звонка.

9. Если кто-то захочет вставить батарейку в уже работающую телеграфную цепь, как он определит направление тока в проводе?

10. Если мальчик, намагничивший лезвие своего ножа в физической лаборатории острием на юг, заблудится в лесу в пасмурный день, как он сможет найти выход?

11. В определенной точке поле земли действует на север, поле электрического тока - на восток. Стрелка магнитоскопа, помещенная в эту точку, указывает точно на северо-восток. Как соотносятся эти два магнитных поля?

(2) Электрические измерения

263. Гальванометры.—При использовании электрического тока часто необходимо или желательно иметь возможность знать не только то, что данный ток слабый или сильный, но и точно какова его сила. Мы можем определить относительную силу двух токов с помощью *гальванометра*.

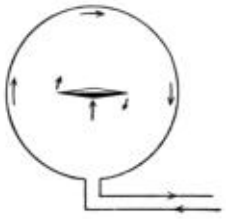


Fig 243.—The magnet is at the center of the coil.

Fig. 244.—A moving-magnet (tangent) galvanometer.

Рис. 243.—Магнит находится в центре катушки.
Рис. 244.Гальванометр с подвижным магнитом (касательный).

Более старый тип гальванометра, или *с подвижным магнитом*, аналогичен гальваноскопу, упомянутому в статье 239. Он состоит из магнитной стрелки, установленной в центре катушки с проволокой. Катушка расположена лицом к востоку и западу, так что стрелка будет удерживаться магнитным полем земли параллельно плоскости катушки. Когда через катушку пропускается ток, внутри нее создается магнитное поле. Это отклоняет стрелку, ее северный конец поворачивается на восток или запад в зависимости от направления тока. (См. рис. 243.) *Катушки* гальванометра с подвижным магнитом или *касательного* гальванометра (см. рис. 244) *большие* и прочно прикреплены к основанию, в то время как *магнит small.*,,

Гальванометр с *подвижной катушкой* (см. рис. 245) состоит из *большого магнита*, прикрепленного к корпусу устройства. Магнит обычно имеет форму подковы, чтобы создавать как можно более сильное поле. *Катушка* намотана на *легкую* прямоугольную рамку и подвешена между двумя полюсами магнита. Для концентрации магнитного поля внутри катушки обычно помещается цилиндр из мягкого железа. На рис. 246 представлена обычная форма гальванометра с подвижной катушкой.

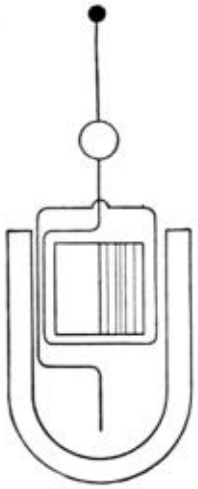


FIG. 245.—To illustrate the principle of the moving-coil galvanometer.

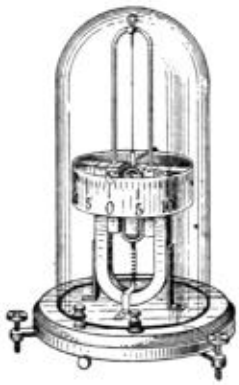


FIG. 246.—A moving-coil (D'Arsonval) galvanometer.

Рис. 245.— Для иллюстрации принципа работы гальванометра с подвижной катушкой.
Рис. 246.Гальванометр с подвижной катушкой (Д'Арсонваля).

264. Измерение электрических токов.—Гальванометр позволяет *сравнивать* электрические токи. Для *измерения* электрических токов необходимо использовать *единицу* электрического количества, точно так же, как при измерении количества воды, подаваемой по трубе, используется единица измерения жидкости; таким образом, *например,* ток, подаваемый по данной трубе, может составлять 2 галлона воды в секунду, поэтому при измерении расхода электрического тока можно говорить о двух *кулонах* в секунду. *Кулон* - это единица измерения количества электроэнергии точно так же, как единицей измерения количества воды является галлон.

Однако для большинства практических целей нас больше интересует *скорость* или *интенсивность* протекания тока, чем фактическое *количество* подаваемого тока. Единица измерения расхода или тока называется *ампер*.

При определении точного *количества* электрического тока физики используют устройство, называемое *кулоновским измерителем*. (См. рис. 247.) Он содержит раствор нитрата серебра, в который помещены две серебряные пластины. Измеряемый ток пропускается через раствор, входя в одну пластину и выходя из другой. Пластина, по *которой* проходит ток, *анод*, *A* (рис. 247), теряет в весе, поскольку часть серебра растворяется. Пластина, через которую *проходит* ток, *катод*, *C*, увеличивается в весе, поскольку осаждается часть серебра. Согласно международному соглашению, *сила тока, который осаждает серебро со скоростью 0,001118 гр. в секунду, составляет 1 ампер*. Это равно 4,025 г в час.

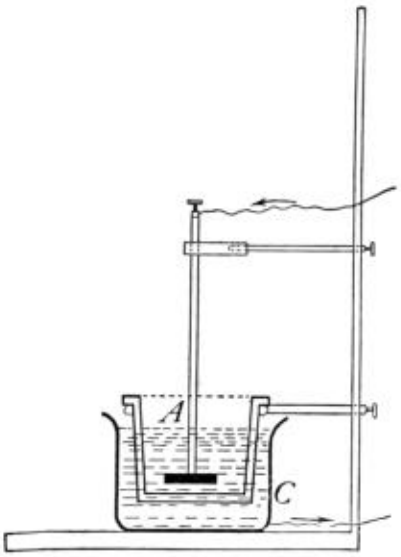


FIG. 247.—A coulomb meter, the anode *A* is separated from the cathode *C* by a porous cup.

Рис. 247.— кулоновский измеритель, анод *A* отделен от катода *C* пористой чашкой.

The *Кулон* определяется как количество электроэнергии, вырабатываемое током в один ампер в течение одной секунды.

Лампа накаливания мощностью 40 Вт потребляет около 0,4 ампера тока. Дуговая лампа потребляет от 6 до 15 ампер. Новый сухой элемент может пропускать через измерительный прибор 20 ампер. Уличный трамвай может пропускать от 50 до 100 ампер.

265. Амперметр.—Описанный выше метод обычно не используется для измерения силы тока из-за его неудобства. Обычно используется *амперметр*. Этот прибор представляет собой *гальванометр с подвижной катушкой*. Он содержит намотанную на легкую форму катушку тонкой медной проволоки. Форма установлена на ювелирных подшипниках между полюсами сильного постоянного подковообразного магнита. (См. рис. 248.) Как и в других гальванометрах с подвижной катушкой, внутри формы находится цилиндр из мягкого железа, концентрирующий поле магнита. Форма и ее катушка удерживаются в равновесии двумя спиральными пружинами, которые также пропускают ток в катушку и из нее.

Только небольшая часть всего измеряемого тока, в некоторых случаях всего 0,0001, проходит через катушку, большая часть тока проходит через металлический провод или полоску, называемую *шунтом* (см. рис. 248), соединяющий крепежные элементы прибора. Фиксированная доля всего тока протекает через катушку. Ее поле, пересекающее поле подковообразного магнита, имеет тенденцию вращаться до тех пор, пока его сила поворота не будет уравновешена спиральными пружинами. Когда катушка вращается, прикрепленный к ней указатель перемещается по шкале с градуировкой, указывающей количество ампер во всем токе.

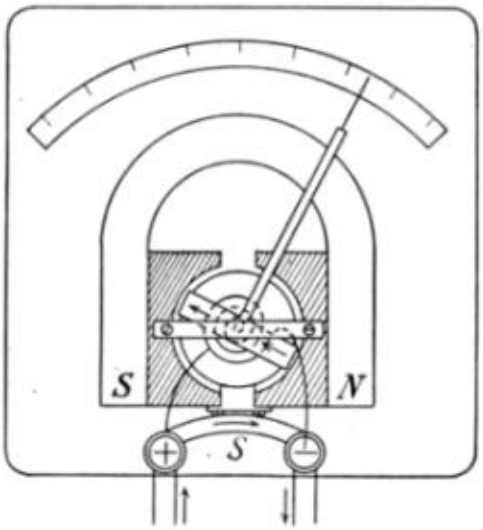


FIG. 248.—Diagram of a commercial ammeter. *S* is the shunt.

Рис. 248.-Схема коммерческого амперметра. *S* - это шунт.

Следует отметить, что хотя *весь* измеряемый ток проходит через амперметр, но небольшая *часть* проходит через катушку.

266. Сопротивление проводников.—С помощью амперметра можно изучить изменение величины тока, протекающего в проводе, когда производится изменение в проводе, проводящем ток. Например, если измерить амперметром ток, протекающий от сухого элемента по длинному, а затем по короткому отрезку тонкой медной проволоки, то будет видно, что при использовании длинного отрезка ток протекает меньше. То есть длинный провод, по-видимому, больше препятствует прохождению тока или *сопротивляется*, чем короткий отрезок. Другими словами, считается, что длинный провод имеет большее *сопротивление*.

На сопротивление проводящего тела влияет несколько условий.

(a) Оно *прямо* пропорционально *длине* проводника, при этом сопротивление ста футов провода в два раза превышает сопротивление пятидесяти футов.

(b) Оно *обратно* пропорционально *квадрату диаметра*; проволока диаметром 0,1 дюйма имеет сопротивление, в четыре раза превышающее сопротивление проволоки диаметром 0,2 дюйма.

(c) Он отличается у разных веществ, железа в нем примерно в шесть раз больше, чем меди.

(d) Это зависит от температуры, металлы обладают большей стойкостью при более высокой температуре.

Поскольку серебро является лучшим из известных проводников, сопротивления других веществ сравниваются с ним в качестве стандарта.

Отношение сопротивления проволоки из любого вещества к сопротивлению серебряной проволоки точно такого же диаметра и длины называется ее *относительным* сопротивлением.

Очищенные вещества, расположенные в порядке увеличения стойкости при одинаковой длине и площади сечения (Айртон-Мазер), приведены на стр. 294.

Серебро отожжено	1,00
Медь отожжена с	1,04
(Медь отожжена) до	1,09
Алюминий отожжен с	1,64
Никель отожжен с	4,69
Платина отожжена с	6,09
Железо отожжено с	6,56
Немецкое серебро с	12,80
(немецкое серебро) до	20,20
Ртуть с	63,30
Нихром с	67,50
Углерод с	2700,00
(углерод) до	6700,00

267. Ом, единица сопротивления, определяется международным соглашением следующим образом: *Ом - это сопротивление столбика чистой ртути длиной 106,3 см, поперечным сечением в квадратный миллиметр и температурой 0°С.*

Следует отметить, что в определении упоминается каждое из четырех условий, влияющих на сопротивление, а именно длина, поперечное сечение, материал и температура. Поскольку обращаться с ртутью неудобно, для сравнения и измерения сопротивлений используются *стандартные катушки сопротивления*, изготовленные из сплава с высоким сопротивлением.

Кусок медной проволоки № 22 (диаметр 0,644 мм) длиной 60,5 футов имеет сопротивление 1 Ом. См. таблицу, стр. 296.

Сопротивление некоторых телефонных приемников составляет 75 Ом, телеграфного эхолота - 4 Ом, реле - 200 Ом.

268. Сопротивление цепей.—Каждая часть электрической цепи обладает сопротивлением. Например, в цепи электрического звонка провода, звонок, кнопка и сам элемент питания оказывают определенное сопротивление прохождению тока. Сопротивление *внутри элемента* называется *внутренним сопротивлением*, в то время как сопротивление частей вне электрогенератора называется *внешним сопротивлением*.

269. Электродвижущая сила.—Чтобы привести что-либо в движение, необходимо приложить некоторую *силу*. Это так же верно для электричества, как и для твердых тел, жидкостей или газов. По аналогии то, что воздействует на батарею или динамо-машину, вызывая протекание тока, называется *электродвижущей силой*. Единица электродвижущей

силы, *вольт*, может быть определена как *электродвижущая сила, которая пропускает ток в 1 ампер через сопротивление в 1 Ом*. Электродвижущая сила сухого элемента составляет около 1,5 Вольт, элемента Даниэля - 1,08 вольта. Большинство электрических цепей освещения в зданиях пропускают ток при напряжении 110 или 220 Вольт. Токи для уличных автомобилей имеют электродвижущую силу от 550 до 660 вольт.

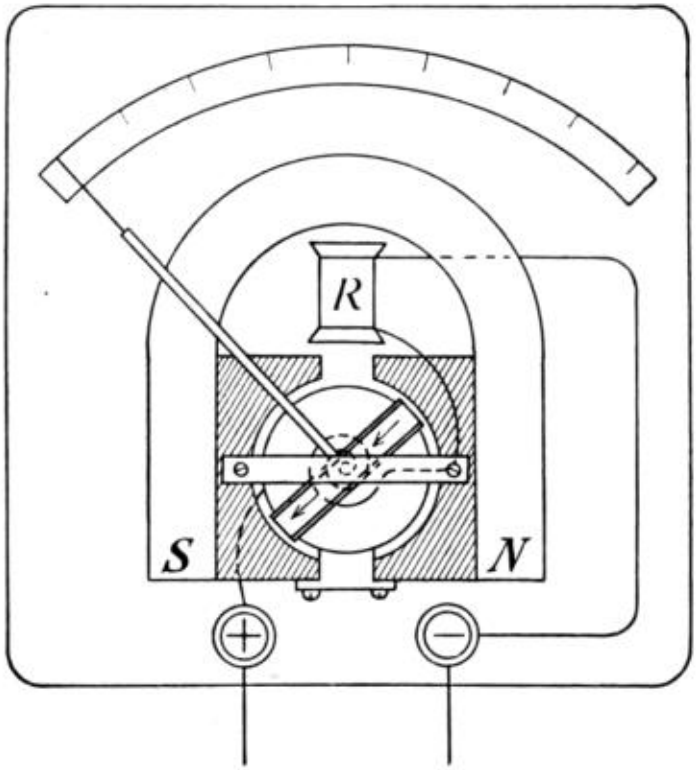


FIG. 249.—Diagram of a commercial voltmeter.

Рис. 249.—Схема коммерческого вольтметра.

270. Вольтметр.—Прибор для измерения электродвижущей силы электрических токов называется *вольтметром* (рис. 249). Обычно это гальванометр с подвижной катушкой, и он всегда имеет *высокое сопротивление*. По конструкции и внешнему виду он похож на амперметр. Фактически, вольтметр - это амперметр, у которого был удален или отсоединен шунт. Вместо шунта вольтметр использует катушку провода с высоким сопротивлением (см. *R*, рис. 249), *включенную последовательно* с катушкой гальванометра. Высокое сопротивление вольтметра позволяет пропускать через него лишь очень небольшой ток. Следовательно, вольтметр должен располагаться *поперек* цепи, а не в ней. Другими словами, *вольтметр подключен через шунт*, в то время как *амперметр подключен последовательно к цепи*, как показано на рис. 250.

РАЗМЕРЫ И ФУНКЦИИ МЕДНЫХ ПРОВОДОВ

B. & C. датчик	диаметр тысячных	диаметр миллиметра	круговой мил	площадь сечения в квадрат	длину и вес, плотность =	сопротивления на уровне 24°C, M /	мощность в ампер

кол-	0000	460.000	ных миллиметрах	8.9, футов на фунт	Ом	ах	11.684	211,600.00	107.219	1.56	19,929.700	312.0
	000	409.640					10.405	167,805.00	85.028	1.97	15,804.900	262.0
	00	364.800					9.266	133,079.40	67.431	2.49	12,534.200	220.0
	0	324.950					8.254	105,592.50	53.470	3.13	9,945.300	185.0
	2	257.630					6.544	66,373.00	33.631	4.99	6,251.400	131.0
	4	204.310					5.189	41,742.00	21.151	7.93	3,931.600	92.3
	6	162.020					4.115	26,250.50	13.301	12.61	2,472.400	65.2
	8	128.490					3.264	16,509.00	8.366	20.05	1,555.000	46.1
	10	101.890					2.588	10,381.00	5.260	31.38	977.800	32.5
	12	80.808					2.053	6,529.90	3.309	50.69	615.020	23.0
	14	64.084					1.628	4,106.80	2.081	80.59	386.800	16.2
	16	50.820					1.291	2,582.90	1.309	128.14	243.250	11.5
	18	40.303					1.024	1,624.30	0.823	203.76	152.990	8.1
	20	31.961					0.812	1,021.50	0.5176	324.00	96.210	5.7
	22	25.347					0.644	642.70	0.3255	515.15	60.510	4.0
	24	20.100					0.511	504.01	0.2047	819.21	38.050	2.8
	26	15.940					0.405	254.01	0.1288	1,302.61	23.930	2.0
	28	12.641					0.32	159.79	0.08	2,071.	15.050	1.4

		1		097	22		
30	10.025	0.255	100.50	0.05092	3,293.97	9.466	1.0
32	7.950	0.202	63.20	0.03203	5,236.66	5.952	0.70
34	6.304	0.160	39.74	0.02014	8,328.30	3.743	0.50
36	5.000	0.127	25.00	0.01267	13,238.83	2.355	0.35
38	3.965	0.101	15.72	0.00797	20,854.65	1.481	0.25
40	3.144	0.080	9.89	0.00501	33,175.94	0.931	0.17

Важные темы

(1) *Гальванометры*: (1) движущийся магнит, неподвижная катушка; (2) движущаяся катушка, неподвижный магнит, амперметр, вольтметр.

(2) *Единица измерения количества, кулон.*

(3) *Единица измерения тока, ампер.*

(4) *Единица измерения сопротивления, ом.*

(5) *Единица электродвижущей силы, вольт.*

Упражнения

1. Как будет соотноситься сопротивление 20 футов немецкой серебряной проволоки № 22 с сопротивлением 10 футов медной проволоки № 22? Объясните.

2. Где в цепи желательно использовать медную проволоку? Где следует использовать немецкую серебряную проволоку?

3. Объясните действие амперметра. Почему стрелка или катушка не поворачиваются на полное расстояние при небольшом токе?

4. Почему телеграфный эхолот более приспособлен для работы на короткой линии, чем на длинной?

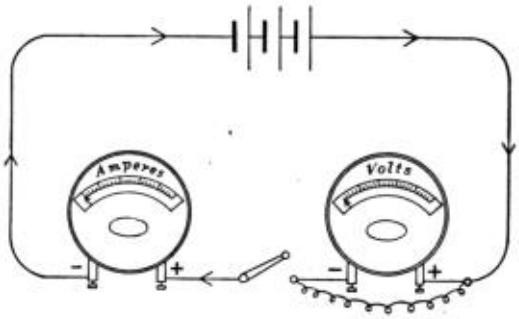


FIG. 250.—The ammeter is connected in series and the voltmeter in shunt.

РИС. 250.—Амперметр подключен последовательно, а вольтметр - шунтирующе.

5. Найдите сопротивление 15 миль медного телефонного провода № 12. (См. таблицу на стр. 296.)

6. Каковы будут вес и сопротивление 1000 футов медного провода № 20?

7. Аккумуляторная батарея пропускает ток силой 4 ампера через раствор для нанесения покрытия. Сколько серебра она отложит за 2 часа?

8. (a) Сравните диаметры медной проволоки № 22 и № 16.

(b) Сравните длины одинаковых проводов, дающих сопротивление 1 Ом.

(c) Какая связь существует между (a) и (b)?

9. Почему цепь электрического звонка обычно разомкнута, в то время как цепь телеграфной линии обычно замкнута?

10. Обнаружено, что медная и железная проволоки одинаковой длины имеют одинаковое сопротивление. Какая из них толще? Почему?

11. Почему электрические звонки обычно располагаются параллельно, а не последовательно?

12. Что произошло бы, если бы вольтметр был включен последовательно в линию?

(3) ЗАКОН ОМА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

271. Условия, влияющие на протекание тока.—Иногда при длинной цепи в одной ячейке не будет работать телеграфный эхолот. В таком случае два, три или более элемента соединяются таким образом, что цинк одного соединяется с медной пластиной другого. При соединении таким образом ячейки называются *расположенными последовательно* (рис. 251). На рисунке *A* представляет собой вольтметр. Обнаружено, что *когда элементы расположены последовательно, Э.Д.С. батареи представляет собой сумму электродвижущих сил элементов*. Амперметр в цепи показывает увеличение тока по мере добавления элементов. Следовательно, *если сопротивление цепи остается неизменным, то чем больше электромагнитное поле, тем больше сила тока*. В этом отношении движение электричества в контуре подобно потоку воды в небольшой трубе под давлением, поскольку в последней поток воды увеличивается по мере увеличения давления. Ток в цепи также может быть увеличен за счет уменьшения сопротивления, поскольку ток по длинному проводу меньше, чем по короткому, точно так же, как поток воды по короткой трубе будет больше, чем по длинной. Следовательно, чтобы увеличить ток, протекающий в электрической цепи, можно либо увеличить электромагнитное поле, либо уменьшить сопротивление.

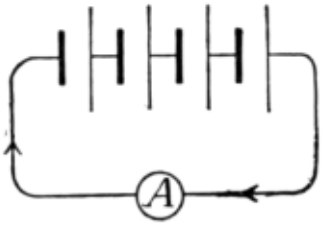


FIG. 251.—Diagram of cells connected in series.

Рис. 251.—Схема последовательно соединенных ячеек.

272. Закон Ома.—Связь между электродвижущей силой, приложенной к цепи, ее сопротивлением и производимым током была открыта в 1827 году Джорджем Омом. Закон Ома, один из важнейших законов электричества, гласит, что в любой цепи *ток в амперах равен электродвижущей силе в вольтах, деленной на сопротивление в омах*.

Этот принцип обычно выражается так:

Сила тока = электродвижущая сила / сопротивление, или

Амперы = вольты / ом, или $I = E/R$

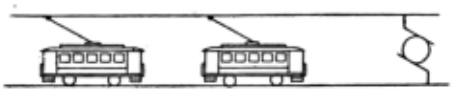


FIG. 252.—The street cars are connected in parallel with each other.

Рис. 252.— Трамваи соединены параллельно друг с другом.

273. Сопротивление последовательно соединенных проводников.—Изучение *сопротивления* проводников, как одиночных, так и сгруппированных различными способами, имеет важное значение*, поскольку ток, протекающий по любой цепи, зависит от ее сопротивления*. Два наиболее распространенных метода объединения нескольких проводников в цепи - *последовательно* и *параллельно*. Проводники расположены *последовательно*, когда весь ток проходит через каждый из проводников по очереди (рис. 218), таким образом, ячейка, кнопка, провода и электрический звонок в цепи электрического звонка расположены последовательно. Проводники находятся *параллельно*, когда они соединены таким образом, что находятся бок о бок и часть всего тока проходит через каждый. Ни один ток, проходящий по одному проводнику, не может проходить по проводникам, параллельным ему. Таким образом, электрические трамваи находятся *параллельно* друг другу. (См. рис. 252.) Легко видеть, что ни один ток, проходящий через один вагон, не может пройти ни через один из других. Когда проводники расположены *последовательно*, объединенное сопротивление представляет собой *сумму* нескольких сопротивлений. Таким образом, в цепи с электрическим звонком, если батарея имеет сопротивление 1 Ом, звонок - 2 Ом, а провод - 1 Ом, общее сопротивление в цепи составляет 4 Ом. Когда проводники расположены *параллельно*, объединенное сопротивление всегда *меньше*, чем отдельные сопротивления. Точно так же, как толпа людей встречает меньшее сопротивление, покидая здание через несколько выходов, так и электричество встречает

меньшее сопротивление при перемещении из одной точки в другую по нескольким параллельным линиям, чем по одной из линий.

274. Сопротивление параллельных проводников.—Если три проводника с равным сопротивлением расположены параллельно, то суммарное сопротивление составляет всего одну треть сопротивления каждого из них в отдельности (рис. 253). Правило, устанавливающее соотношение между суммарным сопротивлением параллельно соединенных проводников и отдельными сопротивлениями, заключается в следующем:*Суммарное сопротивление параллельно соединенных проводников равно величине, обратной сумме обратных величин нескольких сопротивлений*. Например, найдите суммарное сопротивление трех неравных сопротивлений, соединенных параллельно; первое равно 4 Омам, второе - 6 Ом, а третье - 3 Ом. Обратные величины трех сопротивлений равны 1/4, 1/6 и 1/3. Их сумма равна 6/24 + 4/24 + 8/24 = 18/24. Величина, обратная этому, равна 24/18, что равно 1-1 / 3 Ом, суммарному сопротивлению.

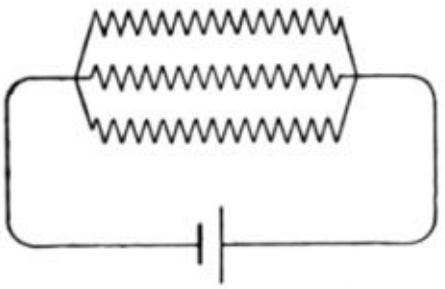


FIG. 253.—The three conductors are connected in parallel.

Рис. 253.—Три проводника соединены параллельно.

Это правило может быть понято лучше, если мы рассмотрим *проводимость* параллельно расположенных проводников. Поскольку проводимость провода в два Ом составляет всего половину проводимости провода в один Ом, мы говорим, что проводимость тела обратно пропорциональна сопротивлению, или что она *обратная сопротивлению*. Следовательно, проводимость 4-, 6- и 3-омных катушек будет составлять соответственно 1/4, 1/6 и 1/3, а поскольку суммарная проводимость представляет собой сумму нескольких проводимостей, общая проводимость равна 18/24. Также, поскольку это величина, обратная общему сопротивлению, последнее составляет 24/18 или 1-1 / 3 Ом.

Когда два или более проводника соединены параллельно, каждый из них называется *шунтирующим* по отношению к другим. Многие цепи подключены *шунтирующими* соединениями или параллельно. На рис. 254 показаны четыре лампы, соединенные параллельно. Лампы накаливания в зданиях обычно подключаются параллельно, в то время как дуговые лампы обычно подключаются последовательно. На рис. 255 представлены четыре лампы, расположенные последовательно.

Важные темы

1. Условия, влияющие на протекание тока, (а) электромагнитное поле, (б) сопротивление.

2. Закон Ома, три формы формулы.

3. Сопротивление проводников: (а) последовательно, (б) параллельно; как вычисляется, иллюстрации.

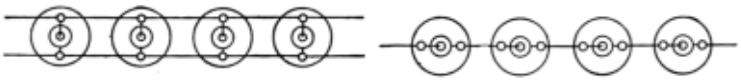


FIG. 254.—The four lamps are connected in parallel. FIG. 255.—The four lamps are connected in series.

Рис. 255.—Четыре лампы соединены последовательно.
Рис. 254.—Четыре лампы подключены параллельно.

Упражнения

1. Какой ток протекает по цепи, если ее электромагнитное поле составляет 110 Вольт, а сопротивление - 220 Ом?

2. Схема содержит четыре последовательно соединенных проводника с сопротивлениями 10, 15, 6 и 9 Ом соответственно. Какой ток будет протекать по этой схеме при напряжении 110 Вольт? Каково будет сопротивление этих четырех параллельных проводников?

3. Каково суммарное сопротивление 8 параллельных проводников, если каждый равен 220 Ом? Какой ток будет протекать по этим 8 проводникам при давлении 110 Вольт?

4. Каково сопротивление цепи с напряжением 22 ампера, если электромагнитное сопротивление составляет 20 вольт?

5. Какой электромагнитный генератор будет пропускать 8 ампер тока через цепь с сопротивлением 75 Ом?

6. Чем отличается вольтметр от амперметра?

7. Как можно определить сопротивление проводника?

8. Сопротивление горячей лампы накаливания составляет 100 Ом. Используемый ток составляет 1,1 ампер. Найдите примененный E.M.F..

9. Каково сопротивление проводов в электрическом нагревателе, если используемый ток составляет 10 ампер при напряжении 110?

10. Сопротивление 1000 футов медного провода № 36 составляет 424 Ом. Сколько футов следует использовать для намотки реле на 200 Ом?

11. Сопротивление троллейбусного провода № 00 составляет 0,80 Ом на 1000 футов. Каково сопротивление линии длиной 1 миля?

12. Провод имеет сопротивление 20 Ом. Он соединен параллельно с другим проводом 6 Ом, найдите их общее сопротивление.

13. Отдельные сопротивления двух ламп накаливания составляют 200 Ом и 70 Ом. Каково их общее сопротивление при параллельном соединении? Когда присоединился к сериалу?

(4) МЕТОДЫ ГРУППИРОВКИ ЯЧЕЕК И ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ

275. Внутреннее сопротивление гальванического элемента.—На ток, вырабатываемый гальваническим элементом, влияет сопротивление, с которым ток сталкивается при прохождении от одной пластины к другой через жидкость элемента. Это называется *внутренним сопротивлением* элемента. Элемент Даниэля имеет внутреннее сопротивление в несколько (1-5) Ом. Сопротивление сухих элементов варьируется от менее 0,1 Ом в новом

состоянии до нескольких Ом в старом. Если ячейки соединены вместе, то их совокупное внутреннее сопротивление зависит от метода группировки ячеек.

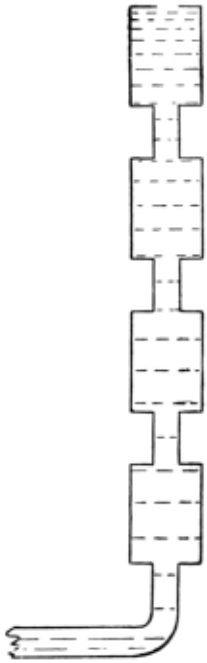


FIG. 256.—The four cans exert four times the water pressure that one can will exert.

Рис. 256.— Давление воды в четырех банках в четыре раза больше, чем в одной банке.

276. Ячейки, сгруппированные последовательно.—Когда в *серии* медная или углеродная пластина одного элемента соединяется с цинковой пластиной другого и так далее. (См. рис. 251.) Эффект последовательного соединения, скажем, четырех ячеек, можно проиллюстрировать на примере четырех банок с водой, поставленных одна над другой. (См. рис. 256.) Общее давление воды в серии равно сумме нескольких давлений в банках с водой, в то время как противодействие, оказываемое перемещению количества воды через группу банок, равно сумме нескольких сопротивлений банок. Применяя эту иллюстрацию к гальваническому элементу, мы используем закон Ома. Пусть E представляет собой e.m.f. одной ячейки, r - внутреннее сопротивление ячейки, а R - внешнее сопротивление или сопротивление остальной части цепи. Рассмотрим группу последовательно расположенных ячеек. Если n представляет *количество* ячеек в *серии*, то закон Ома становится

$$I = nE/(nr + R).$$

Ячейки группируются в *серии*, когда требуется большое электромагнитное поле для пропускания тока через большое внешнее сопротивление, например, через длинную телеграфную линию. Ячейки подключаются *параллельно*, когда требуется пропускать большой ток через небольшое внешнее сопротивление. Для параллельного соединения элементов соединяются все медные пластины, а также все цинковые пластины. (См. рис. 257.) Чтобы проиллюстрировать эффект такого способа группировки ячеек, предположим, что несколько банок с водой стоят рядом (рис. 258). Легко видеть, что давление группы такое же, как и у отдельной ячейки, в то время как сопротивление потоку меньше, чем у отдельной ячейки. Применяя это рассуждение к электрической цепи, мы имеем по закону Ома формулу для протекания тока группы

n ячеек, расположенных параллельно, $I = E/((r/n) + R)$.

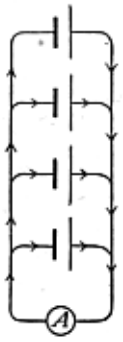


FIG. 257.—Four cells connected in parallel.

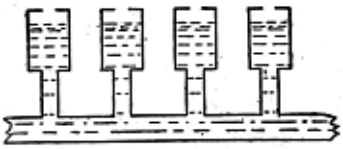


FIG. 258.—The water pressure of the group in parallel is the same as that of one.

Рис. 257.— Четыре ячейки, соединенные параллельно.
Рис. 258.—Давление воды в параллельной группе такое же, как и в одной.

277. Иллюстративные задачи.—Предположим, что четыре ячейки сгруппированы параллельно, каждая с электромагнитным напряжением 1,5 вольта и внутренним сопротивлением 2 Ом. Какой ток будет протекать в цепи, если внешнее сопротивление равно 2,5 Ом? Подставим в формулу для ячеек параллельно значения, приведенные выше, и получим $I = 1.5/(0.5 + 2.5) = 1.5/3 = 0.5$ ампер. Предположим еще раз, что эти четыре элемента были сгруппированы последовательно с одинаковым внешним сопротивлением, подставляя значения в формулу для последовательно расположенных элементов, мы имеем $I = 4(1.5)/(4 \times 2 + 2.5) = 6/10.5 = 0.57$ ампер.

278. Вольт-амперметрический метод определения сопротивления.—Часто производятся измерения сопротивления проводников. Один из этих методов зависит от применения закона Ома. Он называется методом вольт-амперметра, поскольку в нем используются как вольтметр, так и амперметр. Если проводник, сопротивление которого необходимо измерить, является частью электрической цепи, будучи подключенным *последовательно с амперметром* и *в шунте с вольтметром*, сопротивление можно легко определить, поскольку $R = E/I$. (См. рис. 250.) Если, например, разница в Э.М.Ф., или, как ее часто называют, *падение потенциала* между концами провода, показанное на вольтметре, составляет 2 вольта, а ток равен 0,5 ампера, то сопротивление провода равно 4 Ом. Этот метод может быть легко применен для определения сопротивления любого провода, входящего в электрическую цепь.

279. Мост Уитстоун.—Для определения сопротивления отдельного провода или электрического устройства обычно используется другой метод, изобретенный англичанином по фамилии Уитстоун. Этот метод требует, чтобы были приняты три известных сопротивления, a, b, c, в дополнение к неизвестному сопротивлению x. Эти четыре сопротивления расположены в форме параллелограмма. (См. рис. 259.) Гальванический элемент соединен с параллелограммом на концах одной диагонали, в то время как гальванометр с подвижной катушкой соединен на концах другой диагонали. Известные сопротивления изменяются до тех пор, пока при нажатии клавиш E и K через гальванометр не перестанет протекать ток. при достижении этого условия четыре сопротивления образуют истинную пропорцию, таким образом, $a : b = c : x$.

Поскольку значения a, b и c известны, x легко вычисляется. Таким образом, если $a = 10$, $b = 100$ и $c = 1{,}8$ Ом, то x, неизвестное сопротивление, равно 18 Ом, поскольку 10: 100 = 1,8: 18. Этот метод, разработанный Уитстоуном, может быть использован для определения

сопротивления самых разных объектов. Это тот, который чаще всего используется учеными и практическими электриками.

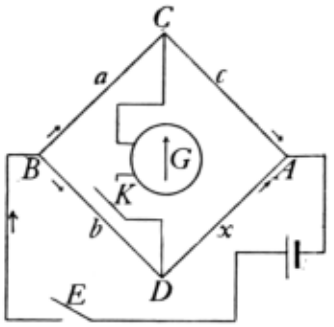


FIG. 259.—Diagram of a Wheatstone bridge.

Рис. 259.Схема моста Уитстоун.

Важные темы

1. Внутреннее сопротивление гальванических элементов.

2. Закон Ома, применяемый к группам ячеек. (а) ячейки расположены последовательно, (б) ячейки расположены параллельно.

3. Измерение сопротивления: (а) методом вольт-амперметра, (б) методом моста Уитстона.

Упражнения

1. Каково сопротивление цепи электрического звонка, где электромагнитное поле составляет 3 вольта, а ток - 0,6 ампера?

2. Телеграфный провод где-то оборван, концы его лежат на влажной земле. Если от земли на провод подается напряжение в 30 Вольт и протекает ток в 0,1 ампера, каково сопротивление детали, подключенной к амперметру. (Земля, замыкающая цепь с конца провода, имеет очень малое сопротивление.) Почему?

3. На каком расстоянии находится обрыв провода, если сопротивление последнего составляет 80 Ом на милю? Диаграмма.

4. Какой ток будет протекать по колоколообразной цепи с сопротивлением 8 Ом, если она содержит три элемента, *соединенные последовательно*, каждый с напряжением 1,5 вольта и внутренним сопротивлением 1/3 Ом?

5. Какой ток протекает, если одни и те же три элемента подключены параллельно в одной цепи? Какой ток в задаче 4 или 5 больше? Почему?

6. Если четыре элемента, каждый с напряжением 1,5 вольта E.M.F. и внутренним сопротивлением 0,4 Ом, подключены к цепи с внешним сопротивлением 0,8 Ом, какой ток даст параллельное подключение? Последовательное соединение? Которое дает больший ток? Почему?

7. Четыре ячейки Daniell, каждая из которых имеет 1 вольт Э.М.Ф. и внутреннее сопротивление 3 Ом, последовательно соединены с двумя телеграфными датчиками по 4 Ом каждый. Соединительные провода имеют сопротивление 6 Ом. Найдите силу тока.

8. Батарейка из 2 последовательно расположенных элементов используется для звонка в дверь. Электромагнитное поле каждой ячейки составляет 1,5 Вольта, внутреннее сопротивление 0,3 Ом, а сопротивление звонка - 4 Ом. Какой ток в амперах?

9. В приведенной выше задаче найдите ток, если ячейки подключены параллельно.

ГЛАВА XIII

ХИМИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

(1) Химическое действие электрического тока

280. Гальванопокрытие.—Если два углеродных стержня (очень хорошо подходят для электрического освещения углероды) поместить в раствор *сульфата меди* (рис. 260), а затем присоединить проводами к соединительным стержням электрической батареи, один из стержней вскоре покрывается слоем *металлической меди*, в то время как на другом углеродном стержне можно увидеть пузырьки газа. Если раствор *ацетата свинца* используется таким же образом, то обеспечивается отложение *металлического свинца*, в то время как раствор *нитрата серебра* дает серебро.

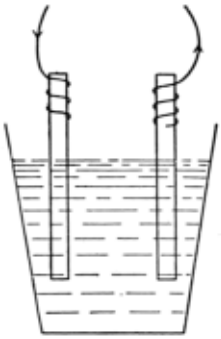


Fig. 260.—Two carbons placed in a solution of copper sulphate.

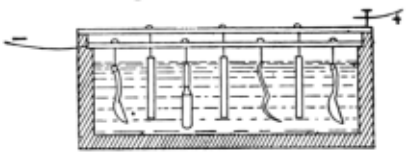


Fig. 261.—An electroplating bath.

Рис. 260.Два атома углерода, помещенные в раствор медного купороса.
Рис. 261.гальваническая ванна.

Этот процесс нанесения металлов на поверхность твердых тел с помощью электрического тока называется *гальванопокрытием*. Все видели *изделия с гальваническим* покрытием, такие как посеребренные ножи, вилки и ложки, а также никелированные стержни, ручки и т.д. С помощью этого процесса изготавливаются*медные электротипные* пластины, которые используются при печати школьных учебников. Припрактическом нанесении гальванических покрытий раствор осаждаемого металла помещается в резервуар; в верхней части этого резервуара расположены медные стержни, выполняющие роль проводящих опор. На одном из этих стержней, катоде, подвешены объекты, подлежащие нанесению покрытия, так, чтобы они были погружены в жидкость. На других стержнях, анодах, подвешены пластины из металла, подлежащего нанесению. Они растворяются по мере того, как ток осаждает покрытие на изделиях, таким образом поддерживая необходимую прочность раствора. (См. рис. 261.)

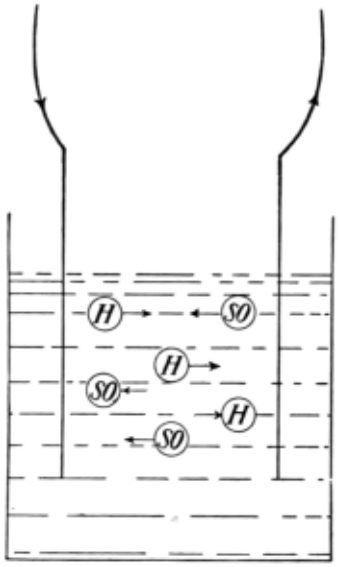


FIG. 262.—The current is carried through the solution by ions.

Рис. 262.—Ток переносится через раствор ионами.

281. Электролиз.—Раствор, из которого под действием электрического тока образуется осадок, называется *электролитом*. Пластины или другие объекты, по которым ток входит в электролит или выходит из него, называются *электродами*. Электрод, по которому поступает ток, называется *анодом* (*an* = in), в то время как электрод, по которому он выходит, является катодом (*cath* = away). Процесс, посредством которого электрический ток разлагает раствор и осаждает вещество на электроде, называется *электролизом*. *Ток* всегда течет внутри элемента от *анода к катоду*. (См. рис. 262.) Металл перемещается вместе с током и осаждается на катоде.

282. Теория электролиза.—Действие, происходящее в *электролитической* ячейке, было тщательно изучено. *Теория электролиза*, которая подтверждается многочисленными экспериментальными данными, предполагает, что многие молекулы в *разбавленном* растворе вещества "расщепляются" на две части, называемые "ионами", причем один ион имеет положительный, а другой отрицательный заряд. В разбавленном растворе серной кислоты *положительным* ионом является водород, в то время как *отрицательным* ионом является (SO_4) или сульфион. Считается, что эти ионы, несущие электрические заряды, являются *переносчиками электрического тока* через электролит.

Положительные ионы перемещаются с током от анода к катоду, в то время как отрицательные ионы, по-видимому, отталкиваются катодом и появляются на аноде. Доказательством накопления двух видов ионов на двух электродах служит *электролиз* воды, описанный ниже.

283. Электролиз воды.—Две стеклянные трубки (рис. 263), *H* и *O*, прикреплены снизу к горизонтальной стеклянной трубке. К последнему также подсоединена вертикальная трубка *T*. На нижних концах *H* и *O* вставлены, вплавленные в стекло, платиновые провода, *A* и *C*. Пробирки заполняются слабым раствором серной кислоты. Верхние части *H* и *O* закрыты запорными кранами, при этом *T* открыт; электрический ток подается внутрь при *A* и выходит при *C*. Сразу же начинается движение ионов, положительные ионы водорода появляются при *C*. Они накапливаются в виде пузырьков водорода, которые поднимаются к верхней части *H* и вытесняют жидкость. В то же время в *A* появляются пузырьки кислорода. Они поднимаются в *O*, а также вытесняют жидкость, которая поднимается в *T*. По прошествии некоторого времени можно заметить, что объем водорода всего в два раза превышает объем кислорода. Этого следовало ожидать , поскольку формула воды - H_2O.

Природу газа, содержащегося в *H* или *O*, можно проверить, открыв запорный кран и позволив газу медленно выходить. Газообразный водород может быть зажжен пламенем, в то время как газообразный кислород вызовет яркое свечение искры на куске дерева, но сам по себе не горит.

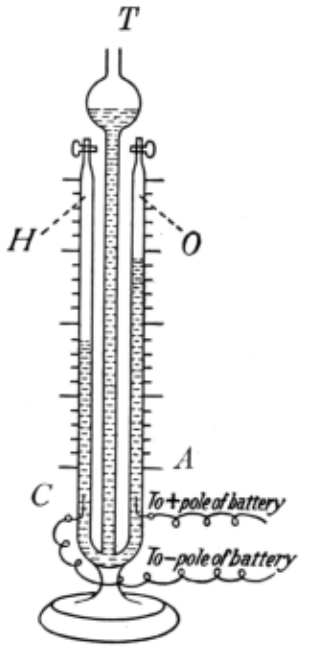


FIG. 263.—Electrolysis of water; oxygen collects in *O*, hydrogen in *H*.

Рис. 263. Электролиз воды; кислород накапливается в *O*, водород - в *H*.

284. Доказательством того, что ионы необходимы для проведения тока в жидкости, является следующий эксперимент. Литровую банку тщательно очищают и наполовину заполняют дистиллированной водой. Два кусочка цинка квадратного сечения 5 см припаивают к отрезкам медного провода № 14 с резиновой изоляцией. Цинки помещают в дистиллированную воду (рис. 264), а провода подключают к 110-вольтовой цепи с лампой накаливания мощностью 16 свечей, включенной *последовательно* с элементом, как показано на рисунке. Если цинк был тщательно очищен и вода чистая, ток не течет, о чем свидетельствует то, что лампа остается темной. Если в воду добавить небольшое количество серной кислоты или обычной соли, лампа сразу же начнет светиться. Теперь в жидкости присутствуют ионы, которые проводят электрический ток. То, что некоторые вещества в растворе не образуют ионов, можно показать, добавив в другую банку с чистой водой немного глицерина и немного тростникового сахара, веществ, по внешнему виду напоминающих кислоту и соль, но которые не *ионизируются* при растворении, о чем свидетельствует лампа, остающаяся темной после добавления глицерина и сахара. Кислота и соль имеют *минеральное* происхождение, в то время как глицерин и сахар являются *растительными* продуктами. Этот эксперимент иллюстрирует принцип, согласно которому вода будет проводить ток только тогда, когда в ней содержатся ионы.

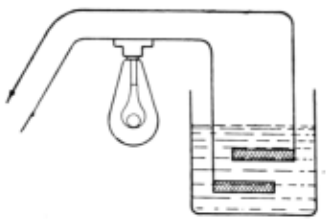


FIG. 264.—The current passes only when ions are present in the liquid.

Рис. 264.—Ток проходит только тогда, когда в жидкости присутствуют ионы.

285. Законы электролиза.— Они были открыты Фарадеем в 1833 году и могут быть сформулированы следующим образом: *I. Масса вещества, осаждаемого электрическим током из электролита, пропорциональна силе тока, который проходит через него.*

II. Масса любого вещества, осаждаемого током одинаковой силы, прямо пропорциональна времени протекания тока.

Эти законы были использованы в качестве основы для определения и измерения единицы измерения протекающего тока - *ампера*. (См. статью 264.)

286. Примеры электролиза.—(a) Лекарственные средства, особенно содержащие минеральные вещества, иногда вводятся в организм человека путем электролиза. (b) Водопроводные и газовые трубы иногда сильно ослабевают из-за воздействия электрических токов в земле, особенно обратных токов от уличных железных дорог. При таких токах металлические трубы используются в качестве проводника. В месте, где ток покидает металл и попадает в землю, он удаляет ионы металла из трубы. Продолжая этот процесс, труба ослабевает и в конце концов ломается. (c) *Медь* очищают с помощью электрических токов, которые удаляют медь из руды или из других металлов и осаждают ее на электродах. *Электролитическая* медь является самой чистой из известных. (d) *Алюминий* получают с помощью больших электрических токов, которые сначала нагревают используемый материал до тех пор, пока он не расплавится, а затем осаждают металл из текучего материала путем электролиза. Эти результаты называются химическими эффектами тока, поскольку при использовании электрических токов вещества изменяются химически, то есть они разделяются на различные химические вещества.

Важные темы

1. Электролиз, гальванопокрытие, анод, катод, ион.

2. Теория электролиза—доказательства: (a) электролиз воды; (б) проводимость кислоты и воды.

3. Законы электролиза.

4. Практическое применение электролиза.

Упражнения

1. Мощность динамо-машины составляет 10 Вольт. Каково сопротивление в цепи при напряжении 20 ампер?

2. Сколько серебра будет осаждено за час при таком течении?

3. Назовите пять объектов за пределами лаборатории, на которые воздействовали электролизом. Как в каждом конкретном случае?

4. Почему столовые приборы покрыты серебром? Почему многие железные предметы покрыты никелем?

5. Как предотвратить электролиз водопроводных труб?

6. Два грамма серебра должны быть нанесены на ложку с помощью тока в 1 ампер. Найдите необходимое время.

7. Сколько времени потребуется для осаждения 20 г серебра в гальванической ванне при использовании тока в 20 ампер?

8. Если за 10 минут на катод установки электролитического восстановления нанести 1000 г серебра, какова сила используемого тока?

(2) Аккумуляторная батарея и электроэнергия

287. Различия между электрическими и аккумуляторными элементами. Гальванические элементы, в которых электрический ток образуется в результате химического взаимодействия металлических пластин с электролитом, часто называют *первичными батареями*. В гальванических элементах одна или обе пластины и электролит израсходованы или теряют свою химическую энергию при производстве тока, и через некоторое время их необходимо заменить новым материалом, при этом *химическая энергия* электролита и одной из пластин *преобразована* в электрическую энергию.

С другим типом ячейки выполняется другая процедура. Это называется *аккумуляторной батареей*, или аккумулятором. В этих элементах те же *пластины* и электролит *используются* без изменений *в течение длительных периодов*, иногда в течение ряда лет. По этой причине аккумуляторные батареи вытеснили многие другие типы элементов, и в настоящее время они используются (а) для управления многими телефонными, телеграфными и пожарными сигнализациями, (б) для работы катушек зажигания газовых и бензиновых двигателей, (в) для снятия "пиковой" нагрузки на осветительные и силовые цепи и (г) для обеспечения энергией электромобилей. Поскольку аккумуляторная батарея может вырабатывать электрический ток только после того, как через нее сначала пропустят электрический ток от внешнего источника, их часто называют *вторичными батареями*.

288. Конструкция и действие накопительной ячейки.—Обычный тип аккумуляторных ячеек состоит из *ряда перфорированных* пластин, изготовленных из сплава свинца и небольшого количества сурьмы. (См. рис. 265, 266, 267.) В перфорационные отверстия вдавливают пасту из свинцового красителя и щепы, смешанную с серной кислотой. Пластины помещают в крепкий раствор (от 20 до 25%) серной кислоты. Теперь пластины готовы к загрузке. Это достигается путем пропускания постоянного тока от электрического генератора через элемент. Ионы водорода перемещаются током к одному набору пластин и превращают пасту в *губчатый* металлический свинец. Сульфионы перемещаются на другой набор пластин и заменяют пасту на оксид свинца. Это электролитическое действие приводит к тому, что две пластины становятся совершенно разными химически, так что, когда элемент полностью заряжен, он подобен гальваническому элементу, имеющему пластины, которые отличаются химически. При полной зарядке он имеет электромагнитное поле около 2,2 Вольт. Поскольку несколько пластин элемента расположены параллельно и близко друг к другу, элемент имеет лишь небольшое внутреннее сопротивление. Следовательно, доступен большой ток.

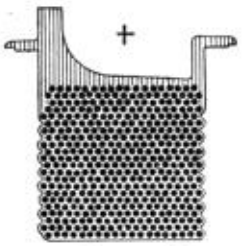


FIG. 265.—The positive plate of a storage cell.

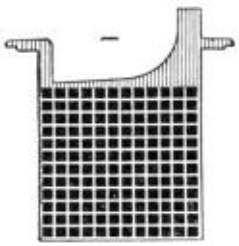


FIG. 266.—The negative plate of a storage cell.

Рис. 265.— Положительная пластина накопителя.
Рис. 266.— Негативная пластина накопителя.

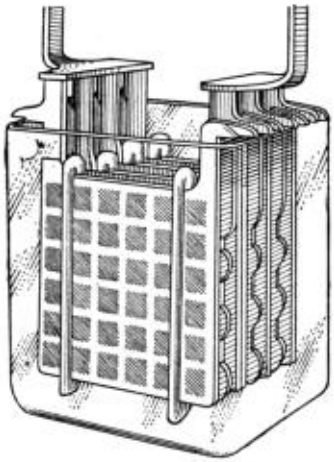


FIG. 267.—A complete storage cell.

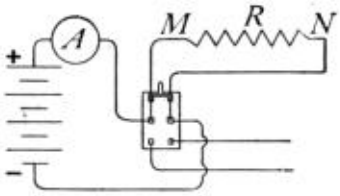


FIG. 268.

Рис. 267.— Полная ячейка для хранения.
Рис. 268.

Около 75%. энергия, поступающая в аккумуляторную батарею при зарядке, может быть получена при *разрядке*. Следовательно, *КПД* хорошего элемента хранения составляет около 75%. На рис. 268 представлена аккумуляторная батарея, подключенная к цепям зарядки и разрядки. Чем ниже, тем больше схема зарядки. Он содержит динамо-машину и сопротивление (ни одно из которых не показано на рисунке) для управления током, подаваемым в элемент. Зарядный ток поступает на положительный полюс и выходит через отрицательный полюс. Однако ток, вырабатываемый элементом, протекает через него в *противоположном* направлении, то есть выходит из положительного и входит в отрицательный полюс. Этот ток может регулироваться подходящим сопротивлением и измеряться амперметром. Аккумуляторы обладают рядом преимуществ: (a) их можно заряжать и разряжать огромное количество раз, прежде чем материал, помещенный в отверстия в пластинах, выпадет наружу. (b) электрическая энергия, используемая для зарядки пластин, *стоит меньше*, чем пластины и электролит гальванических элементов. (c) Зарядка аккумуляторных элементов требует гораздо *меньше труда*, чем замена электролита и пластин гальванических элементов. (d) Аккумуляторные элементы вырабатывают *больший ток*, чем гальванические элементы. Два основных *недостатка* аккумуляторных ячеек заключаются в том, что (а) они *очень тяжелые* и (б) их первоначальная *стоимость значительна*.

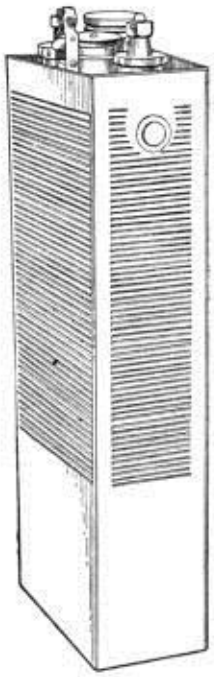


FIG. 269.—The Edison storage cell.

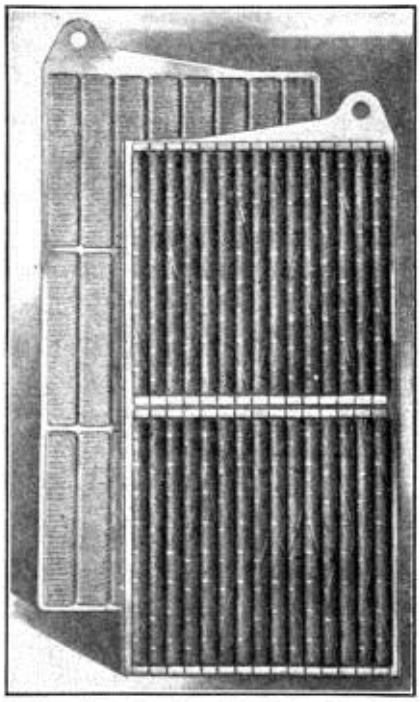


FIG. 270.—The plates of the Edison storage cell.

Рис. 269.— Ячейка памяти Эдисона.
Рис. 270.— Пластины накопителя Эдисона.

289. Аккумуляторная батарея Эдисона (рис. 269 и 270) имеет пластины из оксида железа и никеля. Электролитом является крепкий раствор гидроксида калия. Эти элементы легче свинцовых элементов той же емкости, и утверждается, что они имеют более длительный срок службы.

290. Энергия и мощность элемента хранения.— В элементе хранения электрическая энергия зарядного тока преобразуется в *химическую* энергию под действием электролиза. Именно эта химическая энергия преобразуется в энергию электрического тока, когда элемент разряжается. *Емкость* аккумуляторных ячеек оценивается в "ампер-часах", при этом аккумулятор емкостью 40 ампер-часов способен вырабатывать ток в 1 ампер в течение 40 часов или 5 ампер в течение 8 часов и т.д. Производство и широкое использование электрических токов сделали необходимыми точные методы измерения *энергии* и *мощности* этих токов. Чтобы проиллюстрировать, как это достигается, давайте представим себе электрическую цепь, представленную на рис. 268. Здесь четыре последовательно соединенных элемента памяти имеют электромагнитное сопротивление 8 Вольт и в соответствии с законом Ома вырабатывают ток в 2 ампера через сопротивление в цепи в 4 Ом. Теперь выполняемая работа или энергия, затрачиваемая током при прохождении через сопротивление между точками *M* и *N, зависит* от трех факторов (1) электромагнитного поля или *разности потенциалов*; (2) *силы тока* и (3) *времени*. Энергия измеряется их продуктом. То есть, *электрическая энергия = разность потенциалов × сила тока × время*. Это представляет электрическую энергию в *джоулях*, или

Джоули = вольты × амперы × секунды, или
$j = E \times I \times t$.

В схеме, представленной на рис. 268, энергия, затрачиваемая между точками *M* и *N* за 1 минуту (60 секунд), составляет 8 ×2 ×60 = 960 джоулей.

291. Электрическая мощность.— Поскольку мощность относится к *скорости времени*, с которой выполняется работа или расходуется энергия, ее можно вычислить путем деления электрической энергии на время, или *электрической мощности* = *вольт* × *ампер*. Мощность в 1 джоуль в секунду называется *ваттом*. Следовательно,

Ватты = вольты × амперы, или
ватты = E × I.

Другими единицами измерения мощности являются *киловатт* = 1000 Вт и *лошадиная сила* = 746 Вт. В примере, приведенном в статье 290, мощность тока составляет 8 × 2 = 16 Ватт, или, если бы энергия тока, затрачиваемая между соединениями M и N, была преобразована в механическую мощность в лошадиных силах, это составило бы 16/746 лошадиной силы. Электрическая энергия обычно продается в *киловатт-часах*, или количестве электрической энергии, которое потребляло бы мощность 1000 Вт в течение одного часа, или 100 Вт в течение 10 часов, или 50 Вт в течение 20 часов и т.д.

Важные темы

1. Аккумуляторная батарея, ее конструкция, электролит, действие, применение, преимущества, недостатки.

2. Электрическая энергия, единичная стоимость, как рассчитывается?

3. Электроэнергия, три единицы, стоимость, как рассчитывается, как продается?

Упражнения

1. В каких трех отношениях электрические и аккумуляторные элементы похожи? В каких двух отношениях отличаются?

2. Назовите четыре преимущества ячеек для хранения в порядке их важности. Укажите причины выбора такого порядка.

3. Почему сухие элементы больше подходят для управления цепью дверного звонка, чем аккумуляторная батарея? Приведите две причины.

4. Ток для городской телефонной системы обеспечивается аккумуляторной батареей. Почему это лучше, чем сухие элементы в каждом телефоне?

5. Лампе накаливания требуется 0,5 ампера при напряжении 110 Вольт. Какая мощность требуется для ее работы? Сколько *энергии* он преобразует за 1 минуту?

6. Сколько времени потребуется этой лампе, чтобы использовать киловатт-час энергии?

7. Уличный трамвай потреблял 100 ампер при давлении 600 вольт. Какая мощность подавалась на него? Выражайте также в киловаттах и лошадиных силах.

8. Электрический тостер потребляет 5 ампер при напряжении 110 вольт. Если он поджаривает ломтик хлеба за 2 минуты, какова стоимость в 10 центов за киловатт-час?

9. Электрический утюжок потребляет 5 ампер при напряжении 110 вольт. Найдите стоимость его использования в течение 2 часов из расчета 12 центов за киловатт-час.

10. Двигатель мощностью 1/4 киловатта используется для работы стиральной машины в течение 5 часов. Каковы затраты на эту мощность при цене 10 центов за киловатт-час?

11. Какова эффективность двигателя, потребляющего 7390 Вт и развивающего 9 лошадиных сил?

12. Сколько лошадиных сил приходится на водопад высотой 212 футов, по которому течет 800 кубических футов воды в секунду? Выразите эту мощность в киловаттах.

13. Какая лошадиная сила должна быть приложена к динамо-машине с КПД в 100 процентов. если это для того, чтобы последовательно зажечь 20 дуговых ламп, каждая из которых потребляет 10 ампер при напряжении 60 вольт?

(3) Тепловой эффект электрических токов

292. Выработка тепла электрическим током.—Когда электрический ток не производит никакой химической или механической работы, его энергия используется для преодоления сопротивления проводящей цепи и преобразуется в *тепло*. Этот эффект имеет множество практических применений и некоторые недостатки. Многие устройства используют нагревательный эффект электрического тока, (а) электрическая печь, (б) электрическое освещение, (в) нагревательные змеевики для уличных автомобилей, (г) бытовые приборы, такие как утюги, тостеры и т.д. Иногда количество тепла, выделяемого электрическим током в проводах такого устройства, как трансформатор, настолько велико, что используются специальные средства охлаждения. Известно, что необычно сильные токи расплавляют токопроводящие провода цепей и электрических устройств. Следовательно, все электрические цепи, а также многие другие, которые обычно пропускают небольшие токи, защищены *предохранителями*. *Электрический предохранитель* представляет собой короткий кусок провода, который расплавится и разорвет цепь, если ток превысит определенное значение. Проволока предохранителя обычно заключена в негорючий держатель. Проволока предохранителя часто изготавливается из свинца или сплава свинца и других легкоплавких металлов. (См. рис. 271 и 272.)

Fig. 271.—A type of enclosed fuse.

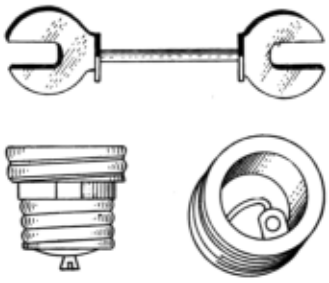


Fig. 272.—A link fuse (above); plug fuses (below).

Рис. 271.—Тип закрытого предохранителя.
Рис. 272.— Соединительный предохранитель (вверху); штекерные предохранители (внизу).

293. Тепло, выделяющееся в проводнике.— Правило для вычисления количества тепла, выделяемого в электрической цепи при заданном токе, было точно определено экспериментальным путем. Было обнаружено, что 1 *калория* тепла (статья 142) производится за счет расхода 4,2 джоулей электрической (или другой) энергии. Другими словами, 1 джоуль произведет 1/4.2 или 0,24 калории. Теперь количество джоулей электрической энергии в электрической цепи выражается следующей формулой:

Джоули = вольты × амперы × секунды, или поскольку 1 джоуль = 0,24 калории,

Калории = вольты × амперы × секунды × 0,24 или

$$Ч = EI \times t \times 0{,}24 \quad (1)$$

По закону Ома, $I = E/R$ или $E = I \times R$, подставляя в уравнение (1) IR вместо равного ему E, мы имеем

$$H = I^2R \times t \times 0{,}24 \quad (2)$$

Также, поскольку $I = E/R$ замените E/R вместо I в уравнении (1), и мы получим

$$H = E^2/R \quad t \times 0{,}24 \quad (3)$$

Чтобы проиллюстрировать использование этих формул на примере задачи, предположим, что в цепи с сопротивлением 11 Ом в течение 1 минуты протекает ток силой 10 Ампер. Произведенное тепло будет соответствовать формуле (2) = $(10)^2 \times 11 \times 60 \times 0{,}24$ равно 15 840 калориям.

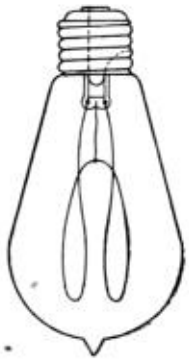


FIG. 273.—A carbon filament incandescent lamp.

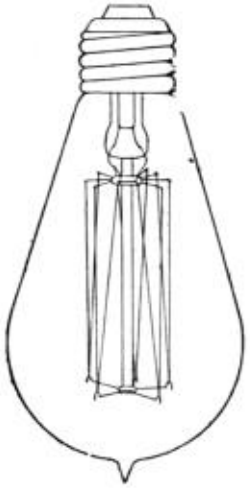


FIG. 274.—A tungsten lamp.

Рис. 273.—Лампа накаливания с угольной нитью накаливания.
Рис. 274.—Вольфрамовая лампа.

294. Лампа накаливания.—Одним из наиболее распространенных устройств, использующих тепловой эффект электрического тока, является *лампа накаливания*. (См. рис. 273.) В этой лампе ток подается через угольную нить накаливания, которая нагревается до накала. Чтобы предохранить нить накала от возгорания, а также предотвратить потерю тепла в результате конвекции, ее помещают в стеклянную колбу, из которой выпускают воздух. Два платиновых провода, вплавленных в стекло, соединяют углеродную нить с рифленым ободком и торцевой частью основания. Наконечник и обод соединяются с гнездом, чтобы электрический ток мог проходить через нить накаливания лампы. Угольная лампа накаливания имеет низкий КПД. Требуется 0,5 ампера тока при напряжении 110 Вольт или, другими словами, требуется 55 Вт, чтобы заставить лампу мощностью 16 свечей ярко светиться, следовательно, мощность 1 свечи в этой лампе составляет 55/16 = 3,43 Вт.

The *Эффективность электрических ламп* измеряется *количеством ватт на мощность свечи*. Это своеобразное использование термина "эффективность", поскольку чем больше это

число, тем менее эффективна лампа. Были разработаны более эффективные лампы с нитями накала из металлов *тантала* и *вольфрама* (рис. 274). Они дают более белый свет, чем угольные лампы, и потребляют всего около 1,25 Вт на мощность свечи.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ "ЭФФЕКТИВНОСТЬ" ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛАМП

Наименование лампы	Мощность свечи в ваттах	Наименование лампы	Мощность свечи в ваттах
Углеродная нить накала	с 3 по 4	Дуговая лампа	0,5 - 0,8
Металлизированный углерод	2.5	Ртутная дуга	0.6
Тантал	2.0	Пылающая дуга	0.4
Tungsten	от 1,0 до 1,5	Nitrogen-filled tungsten	от 0,6 до 0,7

Лампы накаливания подключаются параллельно (см. рис. 254) к проводам, на которых поддерживается постоянная разность потенциалов 110 или 115 Вольт. Обычно на одну цепь подключается не более двенадцати ламп, причем каждая цепь защищена предохранителем и управляется одним или несколькими переключателями.

295. Дуговая лампа.— Электрическая *дуговая* лампа (см. рис. 275) широко используется для освещения больших помещений, в том числе в стереоптиконах и киноаппаратах. Интенсивность света варьируется от 500 до 1700 свечей. Так называемая средняя мощность сферической свечи дуговой лампы составляет около 510. Мощность свечи в направлении наибольшей интенсивности составляет около 1200. На его производство затрачивается около 500 Вт. Поэтому он более эффективен, чем лампа накаливания, часто потребляя менее 0,5 Вт на вырабатываемую мощность свечи. Дуговая лампа была впервые изобретена сэром Хамфри Дэви в 1809 году, который использовал два куска древесного угля, подключенных к элементам напряжением 2000 вольт. Дуговая лампа требует такой большой мощности, что ее производство с помощью гальванических элементов очень дорого. Следовательно, она не получила широкого распространения до тех пор, пока не была усовершенствована динамо-машина. На рис. 276 показан внешний вид двух атомов углерода в дуговой лампе. При использовании постоянного тока положительный углерод нагревается более интенсивно и излучает большую часть света. Положительный углерод расходуется примерно в два раза быстрее, чем отрицательный, и его конец вогнут, отрицательный остается заостренным.

Fig. 275.—An electric arc light.

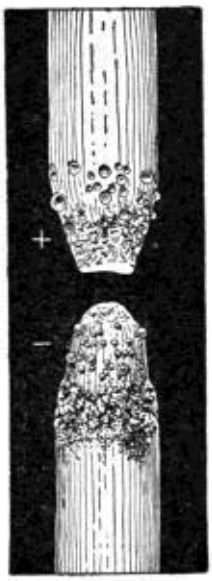


Fig. 276.—The appearance of a pair of used carbons.

Рис. 275.— Электрическая дуговая лампа.
Рис. 276.—Внешний вид пары использованных углеродов.

При переменном токе стержни потребляют одинаковое количество энергии и производят равное количество света. В стереоптиконе угли обычно располагаются под прямым углом, как показано на рис. 277. В стереоптиконе, а также в наружном освещении постоянный ток более эффективен, хотя часто используется переменный ток, поскольку последний может быть произведен и распределен дешевле, чем постоянный ток. В дуговых лампах размещение внутреннего стеклянного шара (рис. 278) вокруг углей существенно снижает расход углерода. Срок службы угольных стержней *закрытых* дуговых ламп часто составляет от 60 до 100 часов.

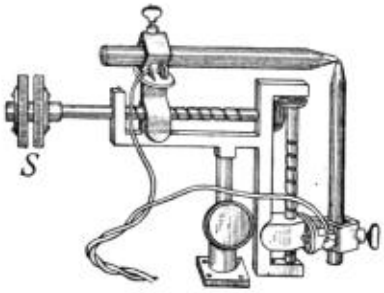


Fig. 277.—A right-angle electric arc lamp for a stereopticon.

Fig. 278.—An enclosed arc lamp.

Рис. 277.— Прямоугольная электродуговая лампа для стереоптикона.
Рис. 278.—Дуговая лампа закрытого типа.

Причина, по которой *открытую* дуговую лампу необходимо "заправлять" чаще, чем *закрытую* лампу, то есть добавлять в нее новые угли, заключается в том, что угли "горят" свободно, то есть соединяются с кислородом воздуха. В дуговой лампе закрытого типа запас кислорода во внутреннем резервуаре ограничен и быстро расходуется, поэтому в таких лампах углекислый газ сохраняется во много раз дольше.

Некоторые углеродные стержни имеют мягкую сердцевину, содержащую соли кальция. Они испаряются в дуге, образуя *горящую дугу* ярко-желтого цвета, и дают больше света, чем обычная лампа.

Важные темы

1. Тепловые эффекты электрических токов, их применение.

2. Расчет тепловыделения в контуре. Три формулы.

3. Электрические лампы; лампы накаливания и дуговые; конструкция, применение, эффективность.

Упражнения

1. Нарисуйте схему, содержащую 10 ламп накаливания, расположенных параллельно. Если каждая лампа при нагревании имеет сопротивление 220 Ом, а электромагнитное сопротивление составляет 100 Вольт, какой ток будет протекать?

2. Сколько будет стоить использование этих ламп в течение 3 часов в день в течение 30 дней по цене 10 центов за киловатт-час?

3. Сколько тепла будут выделять эти лампы в минуту?

4. Как можно подключить 110-вольтовые лампы к цепи уличного трамвая напряжением 660 Вольт? Объясните это устройство и нарисуйте схему.

5. Для определенной дуговой лампы требовалось 10 ампер тока при напряжении 45 вольт. Сколько это будет стоить по цене 10 центов за киловатт-час, если использовать его 3 часа в день в течение 30 дней?

6. Покажите схему из 3 дуговых ламп, расположенных последовательно. Если каждая потребляет 45 Вольт и 10 ампер, сколько электромагнитного поля и тока им потребуется?

7. Если электрический тостер потребляет 5 ампер при напряжении 115 Вольт, сколько тепла он выделит за полчаса?

9. Сколько тепла выделяется в электрическом тостере за 2 минуты, если он потребляет 5 ампер при 100 вольтах?

10. Сколько би-томов выделяется в электрической духовке, которая потребляет 10 ампер при напряжении 110 Вольт в течение 1 часа? (1 Б.т.у.е. равен 252 калориям.)

11. Электрический нагреватель подает тепло со скоростью 700 Б.т.у.е. в час. Сколько энергии ему требуется?

12. Сколько ватт требуется для параллельной работы 120 ламп накаливания, если на каждую требуется 0,5 ампера при напряжении 110 вольт?

13. Электрическая лампа потребляет 12 Ампер при напряжении 110 Вольт. Сколько битов излучается от нее каждую секунду? Сколько калорий?

14. Если 110-вольтовую лампу накаливания погрузить на 10 минут в 400 г холодной воды при подаче тока 0,5 ампера, на сколько градусов по Цельсию нагреется вода?

15. В электрической печи используется ток 3000 ампер при напряжении 10 Вольт. Найдите количество выделяемого тепла за 1 минуту.

16. Сколько мощности свечей должна давать 20-ваттная вольфрамовая лампа, если ее КПД составляет один Ватт на мощность свечи?

17. Какова "эффективность" 40-ваттной вольфрамовой лампы, если она выдает мощность в 34 свечи?

План обзора: Текущее электричество

Образуется в результате химического воздействия; электрические элементы и аккумуляторы.

Магнит, электромагнит, применение.

Три основных эффекта: Химия, электролиз, применение.

Тепловые, осветительные и нагревательные приборы.

Теории: (a) гальванических элементов, (б) электролиза.

Единицы измерения: Ампер, ом, вольт, ватт, джоуль, киловатт, лошадиная сила.

Измерение:

(a) магнитный эффект; гальванометр, амперметр, вольтметр, ваттметр, мост Уитстона, конструкция и использование.

(b) химический эффект; вольтаметр.

Законы:

(a) Правила для правой руки для проводника и спирали.

(b) Сопротивление, Проводники, соединенные последовательно и параллельно.

(c) Закон Ома, тепловой закон, энергетический закон, по 3 формы для каждого.

(d) Ячейки расположены параллельно и последовательно.

Задачи: При применении изученных законов и формул.

Устройства и измерительные приборы:

Гальванические элементы; влажные, сухие и даниэлловые.

Электролиз и аккумуляторная батарея.

Измерительные приборы, электрический звонок, эхолот,

Отопительные и осветительные приборы.

Термины: Анод, катод, электролит, ион, автоматический выключатель, ток, ЭДС, сопротивление, потенциал.

ГЛАВА XIV

ИНДУЦИРОВАННЫЕ ТОКИ

(1) Электромагнитная индукция

296. Ток, индуцируемый магнитом.—Открытие в 1819 году, что ток в проводнике может отклонять магнитную стрелку или что он обладает магнитным эффектом, привело ко многим попыткам *производить электрический ток с помощью магнита*. Однако примерно в 1831 году *Джозеф Генри* в Америке и *Майкл Фарадей* в Англии независимо открыли, как достичь этого важного результата.

В настоящее время электрические элементы производят лишь очень малую часть потребляемой в настоящее время электроэнергии. Практически все, что используется для *получения энергии, света, тепла и электролиза, производится с помощью магнитных полей или электромагнитной индукции*.

297. Законы наведенных токов.[M]— Для иллюстрации того, как ток может быть получен с помощью электромагнитной индукции:

Подсоедините катушку из 400 или более витков медного провода с изоляцией № 22 к чувствительному гальванометру. (См. рис. 279.) Теперь вставьте в катушку стержневой магнит. Будет замечено резкое движение гальванометра, указывающее на *выработку тока*. Однако, когда магнит перестает двигаться, ток прекращается, и катушка гальванометра возвращается в свое первое положение. Если теперь магнит будет удален, то будет замечено движение катушки гальванометра *в противоположном направлении*. Это действие можно повторять так часто, как требуется, с аналогичными результатами.

Тщательные эксперименты показали, что именно *магнитное поле* магнита производит действие, и что только когда *количество силовых линий в катушке меняется*, мы обнаруживаем ток, возникающий в катушке. Эти факты приводят к *Закону I. Любое изменение количества магнитных силовых линий, проходящих через катушку или перерезаемых ею, приведет к возникновению электродвижущей силы в катушке.* В описании только что приведенного эксперимента создаются *электрические токи*, в то время как в Законе I упоминаются *электродвижущие силы*. Это различие связано с тем фактом, что электромагнитное излучение *всегда* вырабатывается в катушке при изменении магнитного поля внутри нее, в то время как ток обнаруживается только тогда, когда катушка является частью *замкнутой цепи*. Индуктивное действие магнитного поля Земли (см. рис. 280) можно показать с помощью катушки диаметром от 400 до 500 витков в фут.

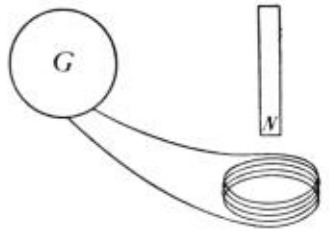


FIG. 279.—The moving magnet induces a current in the coil.

FIG. 280.—A current may be induced by turning the coil in the earth's magnetic field.

Рис. 279. — Движущийся магнит индуцирует ток в катушке.
Рис. 280. Ток может быть индуцирован путем вращения катушки в магнитном поле Земли.

Подключите ее концы к чувствительному гальванометру и держите его под прямым углом к магнитному полю Земли. Затем быстро поверните катушку на 180 градусов и обратите внимание на движение гальванометра. Переверните катушку, и гальванометр качнется в противоположном направлении.

Если магнит на рис. 279 сначала *медленно*, а *затем быстро* перемещать *внутрь* и наружу катушки, можно заметить *небольшие и большие* отклонения катушки гальванометра. Чем быстрее движение магнитного поля, тем больше отклонения гальванометра. Это приводит к *закону II. Создаваемые электродвижущие силы пропорциональны количеству линий силы, пересекаемых в секунду.*

298. Магнито — это устройство, которое иллюстрирует законы индуцированных токов, изложенные в ст. 297. Магнито (см. рис. 281) состоит из нескольких постоянных U-образных магнитов, расположенных рядом друг с другом. Между полюсами этих магнитов помещен железовый цилиндр с прорезью, в которую вмотана катушка из множества витков тонкой изолированной медной проволоки, как показано на рис. 282. Цилиндр и катушка образуют так называемую *якорь.* Якорь установлен таким образом, что может вращаться между полюсами U-образных магнитов с помощью ручки. При вращении якоря силовые линии магнитов проходят через катушку сначала в одном направлении, а затем в другом. Это повторяющееся изменение силовых линий, проходящих через катушку, создает электродвижущую силу, которую можно почувствовать, держа в руках два провода, идущих от катушки якоря. При *более быстром* вращении якоря ток ощущается *гораздо сильнее,* что показывает, что электродвижущая сила в катушке увеличивается по мере увеличения скорости пересечения магнитных силовых линий катушками.

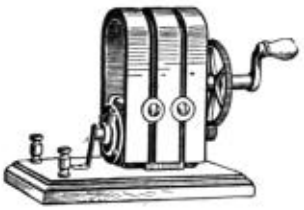


FIG. 281.—A magneto.

FIG. 282.—A shuttle armature.

Рис. 281. Магнито.
Рис. 282. — Челночный якорь.

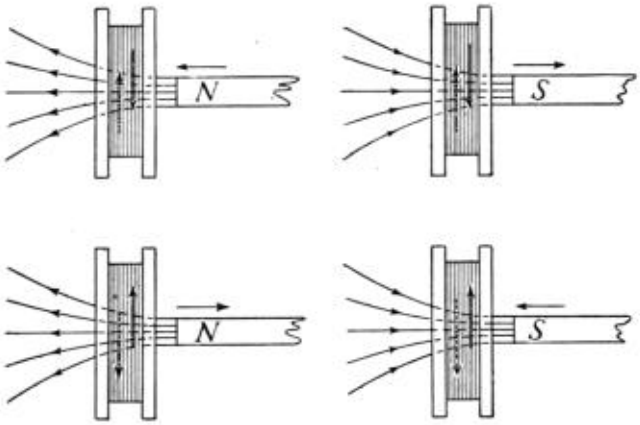


FIG. 283.—The induced current has a field which opposes the motion of the magnet. The heavy line represents the direction of the induced current.

Рис. 283. — Индуцированный ток имеет поле, которое противодействует движению магнита. Толстая линия обозначает направление индуцированного тока.

299. Закон Ленца. — При вращении якоря магнето, если два провода, выходящие из его катушки, соединены, образуя так называемое «короткое замыкание», трудность вращения якоря сразу же увеличивается. Если теперь цепь разорвана, якорь вращается так же легко, как и вначале . Увеличение сопротивления вращению якоря обусловлено *током*, возникающим в катушке. Этот ток создает собственное магнитное поле, противодействующее полю стальных магнитов. Это противодействие делает необходимым приложение *усил*ия для поддержания движения катушки, когда через нее проходит ток. Этот факт называется *законом Ленца.* Его можно выразить следующим образом: *Всякий раз, когда ток индуцируется относительным движением магнитного поля и проводника, направление индуцированного тока всегда таково, что создается магнитное поле, противодействующее движению.* Закон Ленца вытекает из принципа сохранения энергии, согласно которому энергия может быть произведена только за счет расхода другой энергии. Поскольку электрический ток обладает энергией, такой ток может быть произведен только за счет механической работы или расхода другой формы энергии. Чтобы проиллюстрировать закон Ленца, предположим, что северный полюс стержневого магнита вставлен в замкнутую катушку проволоки. (См. рис. 283.) Ток, индуцированный в катушке, имеет такое направление, что его линии силы проходят внутри катушки, *противодействуя* полю стержневого магнита, когда северный полюс магнита вставлен так, что указывает влево. То есть северный полюс спирали находится справа. Применив правило правой руки к катушке, мы получим, что ток в ней будет *противоречить часовой стрелке.* При извлечении магнита ток меняет направление, становясь *часовым*, а его поле проходит слева внутри катушки.

Яркой иллюстрацией противодействия поля индуцированного тока по отношению к индуцирующему полю служит сильный электромагнит (см. рис. 284) и подвешенный между полюсами лист меди, который свободно колеблется. Когда через магнит не протекает ток , лист некоторое время легко колеблется. Однако, когда катушки намагничиваются, в медном листе индуцируются токи, которые создают магнитные поля, сильно противодействующие движению, и колебания почти мгновенно прекращаются. Этот принцип применяется в хороших амперметрах и вольтметрах для предотвращения колебаний стрелки при отклонении. Ток, индуцированный в металлической форме, на которую намотана катушка гальванометра, достаточен для того, чтобы стрелка практически не колебалась.

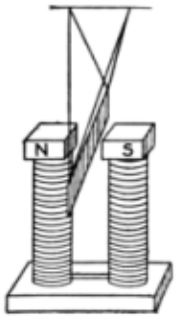
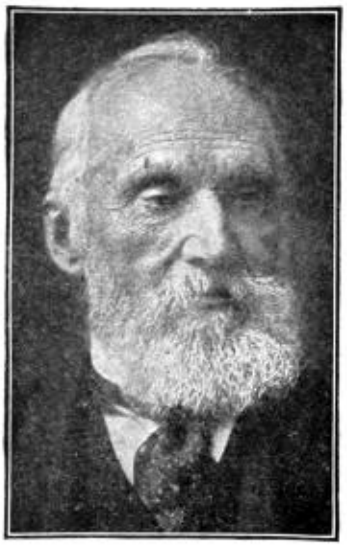


FIG. 284.—The magnetic field stops the swinging of the sheet of copper.

Рис. 284. Магнитное поле останавливает колебания медного листа.

300. Магнито и динамо. Магнито используются для *генерации небольших* токов, таких как токи, используемые для телефонных сигналов и для работы *искровых* устройств бензиновых *двигателей*. Поэтому они встречаются в автомобилях с бензиновыми двигателями. Однако наиболее важным устройством для производства электрического тока путем электромагнитной индукции является *динамо*. Оно используется везде, где требуются большие токи. Принцип действия этого устройства аналогичен принципу действия магнито, за исключением того, что оно содержит *электромагнит* для создания магнитного поля. Поскольку электромагнит может создавать гораздо более сильное поле, чем постоянный магнит, динамо может генерировать более высокую ЭДС и гораздо более сильный ток, чем магнито.



LORD KELVIN
"By Permission of the Berlin Photographic Co., New York."

ЛОРД КЕЛЬВИН

«С разрешения Berlin Photographic Co., Нью-Йорк».
Лорд Кельвин (сэр Уильям Томсон), (1824-1907). Профессор физики Глазгоского университета. Изобрел абсолютную шкалу температур, а также многие практические электрические измерительные приборы. Ведущий физик второй половины XIX века.

MICHAEL FARADAY
"By Permission of the Berlin Photographic Co., New York."

МАЙКЛ ФАРАДЕЙ

«С разрешения Berlin Photographic Co., Нью-Йорк».
Майкл Фарадей (1791-1867). Известный английский физик. Сделал много открытий в области электричества и магнетизма; «Величайший экспериментатор XIX века».

301. Магнитные поля генераторов. В магнето магнитное поле создается *постоянными* стальными магнитами. В динамо-машинах используются мощные *электромагниты*. Последние иногда возбуждаются токами из других источников, но обычно ток от якоря

направляется вокруг полевых катушек для создания магнитных полей. Динамо-машины классифицируются в зависимости от способа подачи тока на их полевые катушки.

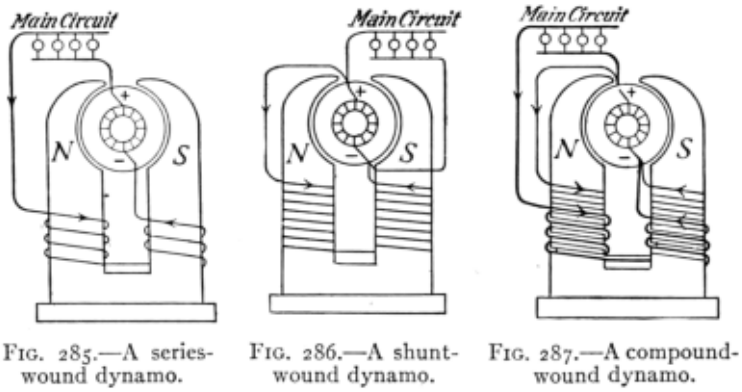


Fig. 285.—A series-wound dynamo. Fig. 286.—A shunt-wound dynamo. Fig. 287.—A compound-wound dynamo.

Рис. 285. Динамо с последовательной обмоткой.
Рис. 286. — Динамо с параллельной обмоткой.
Рис. 287. — Динамо со смешанной обмоткой.

А. Динамик с последовательной обмоткой (см. рис. 285) устроен таким образом, что весь ток, производимый якорем, после прохождения через внешнюю цепь направляется через катушки из толстой проволоки на поля.

В. Динамо с параллельной обмоткой (см. рис. 286) направляет только часть тока, вырабатываемого через катушки поля. Последние состоят из множества витков тонкой проволоки, чтобы использовать как можно меньше тока. Большая часть тока поступает в главную цепь. Если количество ламп или двигателей , подключенных к главной цепи, увеличивается, напряжение уменьшается, что ослабляет ток в катушках поля, вызывая ослабление поля и еще большее понижение напряжения, что приводит к колебаниям ЭДС, что для многих целей является неудовлетворительным. Этот недостаток устраняется с помощью

С. динамиком с составной обмоткой. Этот динамик имеет как шунтирующие, так и последовательные катушки на своих полях. (См. рис. 287.) Если с помощью этого динамика в главную цепь поступает больше тока, последовательные катушки создают более сильное поле, компенсирующее более слабое поле шунтирующих катушек, так что поддерживается равномерное напряжение. Поэтому генератор с составной обмоткой является наиболее широко используемым.

Важные темы

1. Законы электромагнитной индукции (а) условия, (б) ЭДС, (в) направление.

2. Устройства, (а) магнито, (б) динамо: последовательные, шунтирующие, составные.

3. Иллюстрации законов.

Упражнения

1. При каких условиях магнит может генерировать электрический ток?

2. Покажите, как закон Ленца вытекает из принципа сохранения энергии.

3. Плоский магнит закреплен вертикально, северный полюс направлен вверх. На магнит надевается катушка. В каком направлении будет индуцирован ток в катушке? Объясните.

4. Какими двумя способами можно индуцировать ток в замкнутой катушке?

5. Какой метод используется в магнето? В динамо-машине?

6. Какова природа тока, генерируемого в катушке якоря магнито, то есть является ли он постоянным или переменным? Почему?

7. Каково сопротивление 20-ваттной вольфрамовой лампы, если ЭДС составляет 115 вольт?

8. Найдите сопротивление 40-ваттной вольфрамовой лампы при напряжении 115 В. Сколько тепла она будет производить в минуту?

9. Аккумуляторная батарея Эдисона при испытании дала разряд 30 ампер. Среднее напряжение составляло 1,19. Каково было сопротивление батареи?

10. Восемь аккумуляторных элементов соединены последовательно. Каждый из них имеет ЭДС 1,2 вольта и внутреннее сопротивление 0,03 ома. Какой ток будет протекать через вольтметр с сопротивлением 500 ом в цепи с ними?

(2) Динамо и двигатель

302. Динамо можно определить как машину, преобразующую механическую энергию в энергию электрического тока посредством электромагнитной индукции. Хотя электромагнитная индукция была открыта в 1821 году, практические динамо-машины были построены только примерно через 40 лет, между 1860 и 1870 годами. С этого момента начался бурный рост производства и использования электрического тока . Основными частями динамо-машины являются (а) *магнит поля,* (б) *якорь,* (в) *коммутатор* или *коллекторные кольца,* (г) *щетки.* На рис. 288 показаны несколько распространенных способов расположения обмоток поля и якоря.

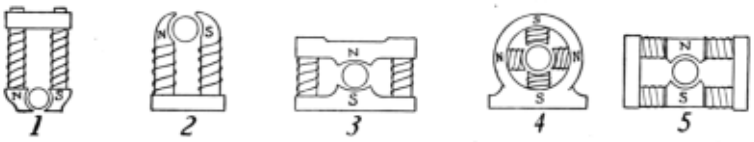


Fig. 288.—Several methods of arranging the field coils and the armature of a dynamo.

Рис. 288. Несколько способов расположения обмоток возбуждения и якоря динамо-машины.

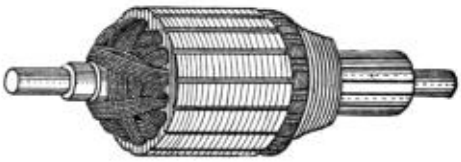


Fig. 289.—A drum armature.

Рис. 289. — Барабанная якорь.

Полевые катушки различаются по количеству и расположению. Цель их конструкции всегда заключается в том, чтобы пропустить через якорь как можно больше силовых линий. Некоторые динамо-машины являются *двухполярными*, то есть имеют *два* полюса, другие — многополярными, то есть имеют более двух полюсов. На рис. 288 № 4 имеет четыре полюса. *Арматура* динамо отличается от арматуры магнито тем, что состоит из ряда катушек из изолированной медной проволоки ( ), намотанных в многочисленных пазах, вырезанных в поверхности цилиндрического куска железа. На рис. 289 показан вид *сбоку* железного

сердечника такой арматуры. Железо используется для формирования корпуса арматуры, поскольку магнитные силовые линии легко проходят через железо. Железо благодаря своей проницаемости также концентрирует и усиливает магнитный поток. Лучшие якоря изготавливаются из множества тонких листов мягкого железа. Их называют *ламинированными* якорями. Якорь, изготовленный из цельного куска железа, нагревается при вращении в магнитном поле. Это происходит из-за электрических токов, индуцированных в самом железе. Нагрев в значительной степени уменьшается за счет *ламинирования* якоря. Почему?

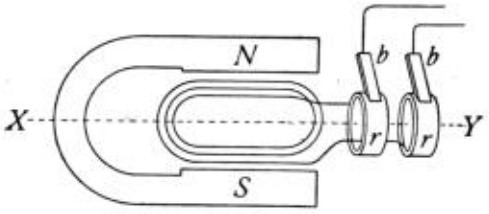


FIG. 290.—Armature connected to slip rings producing an alternating current.

Рис. 290. Арматура, подключенная к контактным кольцам, производящим переменный ток.

303. Методы сбора тока с якоря. Электрические токи, возникающие в якоре, отводятся *специальными скользящими контактами*. Неподвижная часть скользящего контакта называется *щеткой*. Подвижная часть — это *контактное кольцо* или *коммутатор*. На рис. 290 показана катушка якоря, подключенная к контактным кольцам. При вращении якоря катушки и контактные кольца вращаются вместе с ним. Два конца катушек якоря соединены соответственно с двумя кольцами. Теперь, когда якорь вращается, он пересекает линии силы сначала в одном направлении, а затем в другом. Это создает в катушках ЭДС сначала в одном направлении, а затем в другом. Эта ЭДС создает ток, который проводится к внешним цепям через контактные кольца и щетки . Такой ток, который повторно меняет свое направление, называется *переменным током.* На рис. 291 (1) графически показано, как ток переменного тока движется то в одну, то в другую сторону. Переменный ток широко используется для электрического *освещения, обогрева и питания.* Однако *постоянный ток*, или ток, движущийся непрерывно в одном направлении, пользуется большим спросом, особенно для *обслуживания трамваев, электролиза* и *зарядки аккумуляторных батарей.*

304. Коммутатор. — Чтобы динамо-машина могла подавать *постоянный ток*, на валу якоря должен быть установлен *коммутатор*. Коммутатор используется для *изменения* полярности соединений концов обмоток якоря в момент изменения направления тока в якоре. Это изменение полярности соединений при изменении направления тока позволяет сохранить направление тока во внешней цепи. Рис. 291 представляет собой схему якоря с коммутатором. Коммутатор представляет собой *разъемное кольцо,* имеющее столько частей или *сегментов*, сколько катушек на якоре. Щетки касаются противоположных точек на коммутаторе, скользя по его поверхности. Предположим, что якорь, если смотреть со стороны коммутатора, вращается против часовой стрелки, а токи из верхней части движутся к коммутатору и выходят из верхней щетки.

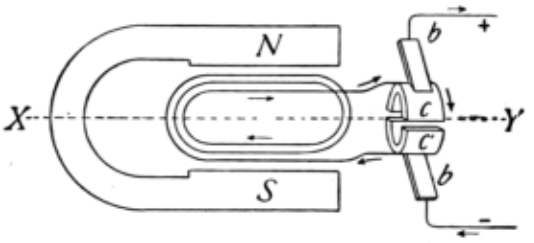


FIG. 291.—The armature coils are connected to a commutator producing a direct current.

Рис. 291. — Катушки якоря подключены к коммутатору, производящему постоянный ток.

Когда якорь вращается, его катушки вскоре начинают пересекать линии силы в противоположном направлении. Это изменение направления пересечения линий силы приводит к изменению направления тока в катушках якоря. В момент изменения направления тока верхний сегмент коммутатора перемещается в контакт с нижней щеткой, а другой сегмент поворачивается, чтобы коснуться верхней щетки. Поскольку ток в катушках изменил направление, он продолжает течь из верхней щетки. Это изменение соединения на щетках происходит при каждом полуобороте якоря, так же как и изменение направления тока в катушках. Таким образом, коммутатор динамо-машины преобразует переменный ток, производимый в катушках якоря, в постоянный ток во внешней цепи. На рис. 292 (1) графически представлен переменный ток, (2) на том же рисунке показан ток, взятый с щеток коммутатора динамо-машины с одной катушкой на якоре.

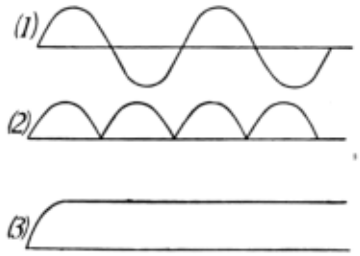


FIG. 292.—Graphic representation of (1) an alternating current; (2) a pulsating current; (3) a continuous current.

Рис. 292. — Графическое представление (1) переменного тока; (2) пульсирующего тока; (3) постоянного тока.

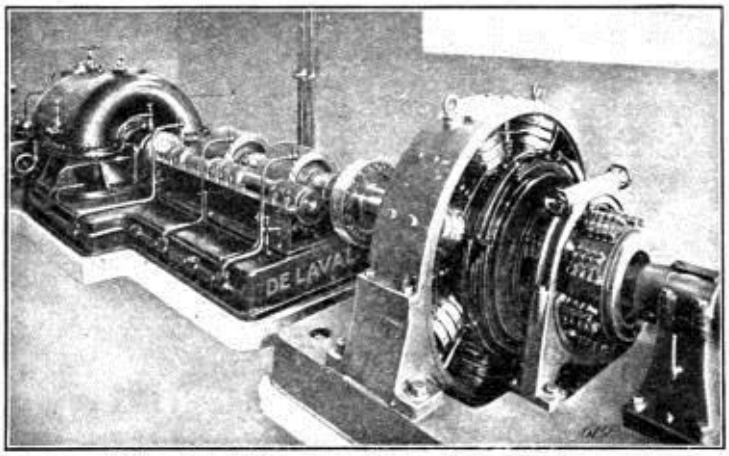


FIG. 293.—DeLaval multi-stage turbine and gear driving 750-kw., 750-r.p.m., 600-volt direct-current generator.

Рис. 293. Многоступенчатая турбина DeLaval и редуктор, приводящие в действие генератор постоянного тока мощностью 750 кВт, частотой 750 об/мин и напряжением 600 В.

Однако практический динамо имеет много катушек на якоре с многослойными сегментами ( ) и соответствующее количество сегментов на коммутаторе. (См. рис. 289 и 293.) Когда каждая катушка и сегмент коммутатора проходят мимо щетки, они создают импульс тока, в результате чего якоря с множеством катушек производят ток, который течет довольно равномерно. (См. рис. 292, 3.)

Ток, представленный на рис. 292 (2), называется *пульсирующим* током.

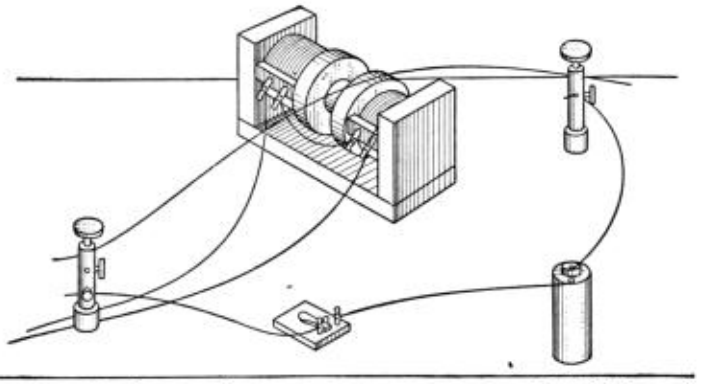


FIG. 294.—A wire carrying a current across a magnetic field is pushed sideways by the field.

Рис. 294. Провод, по которому протекает ток через магнитное поле, отталкивается полем в сторону.

305. Электродвигатель — это машина, которая преобразует энергию электрического тока в механическую энергию или движение. *Двигатель постоянного тока* состоит из тех же основных частей, что и динамо-машина постоянного тока, а именно: магнита поля, якоря, коммутатора и щеток. Его работу легко понять после проведения следующего эксперимента:

Установите два стержневых электромагнита с противоположными полюсами на расстоянии около одного дюйма друг от друга. Провод, подключенный к источнику тока, свободно подвешивается между полюсами, как показано на рис. 294. Цепь, проходящая через провод, должна содержать ключ или переключатель. Если ток пропускается через электромагниты, а затем другой ток пропускается через провод, то последний будет сдвигаться вверх или вниз, а если ток через провод будет обратным, то он будет сдвигаться в противоположном направлении. Эти результаты можно объяснить следующим образом:

Рассмотрим магнитное поле вокруг провода, по которому протекает ток (см. рис. 295). Если такой провод поместить в магнитное поле между двумя противоположными полюсами электромагнита (рис. 296), провод будет перемещаться вверх или вниз. Причина этого показана на схеме на рис. 297. Здесь провод, по которому протекает ток и который, следовательно, окружен магнитным полем, проходит через другое магнитное поле. Два поля воздействуют друг на друга, вызывая скучивание силовых линий над проводом или под ним. Провод сразу же стремится сместиться вбок по полю, удаляясь от стороны скучивания. На рисунке провод стремится сместиться вниз.

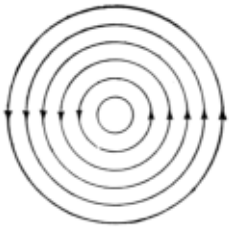


FIG. 295.—The magnetic field about a wire carrying a current.

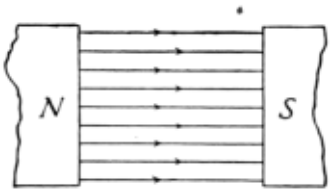


FIG. 296.—The magnetic field between two unlike poles.

Рис. 295. Магнитное поле вокруг провода, по которому протекает ток.
Рис. 296. Магнитное поле между двумя разными полюсами.

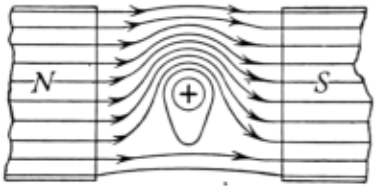


FIG. 297.—The crowding of the lines of force above the wire, pushes it downward.

Рис. 297. Скучивание силовых линий над проводом толкает его вниз.

В практическом двигателе провода на якоре соединены таким образом, что провода на одной стороне (см. рис. 298) проводят ток, который входит, а на другой стороне — выходит. Для обозначения направления тока в проводах используется следующее устройство ( ): круг с крестом (обозначающий перо в хвосте стрелы) указывает на ток, уходящий от наблюдателя, а круг с точкой в центре (обозначающий наконечник стрелы) указывает на ток, идущий к наблюдателю.

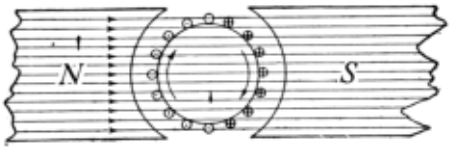


FIG. 298.—The crowding of the lines of force causes the armature to revolve in a clockwise direction.

Рис. 298. Скучивание силовых линий заставляет якорь вращаться по часовой стрелке.

На рис. 298 северный полюс находится слева, а южный — справа. Таким образом, поле магнитов проходит слева направо, как показано на рисунке. Теперь в якоре токи в проводах на левой половине якоря движутся к наблюдателю, а на правой — от него. Применяя правило правой руки, магнитные линии будут сгущаться *под* проводами на левой стороне якоря, а *над* проводами на правой стороне — расходиться. Это вызовет вращение вверх на левой стороне и вниз на правой, или по *часовой* стрелке.

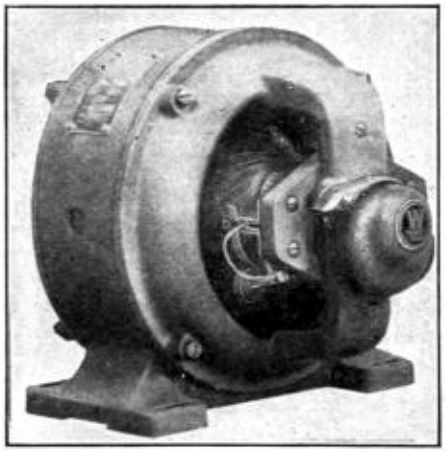


Fig. 299.—View of a one-half horse-power motor.

Рис. 299. Вид двигателя мощностью пол-лошадиной силы.

Если ток в якоре изменится на противоположный (входит слева и выходит справа), силовые линии будут сгущаться вокруг якоря в противоположном направлении, или *против часовой стрелки*. Вращение якоря также изменится на противоположное, если, при неизменном направлении тока в якоре, полюса магнита изменятся, тем самым изменив направление магнитного поля.

Водитель трамвая меняет направление движения своего трамвая, меняя направление тока в *якоре* двигателя.

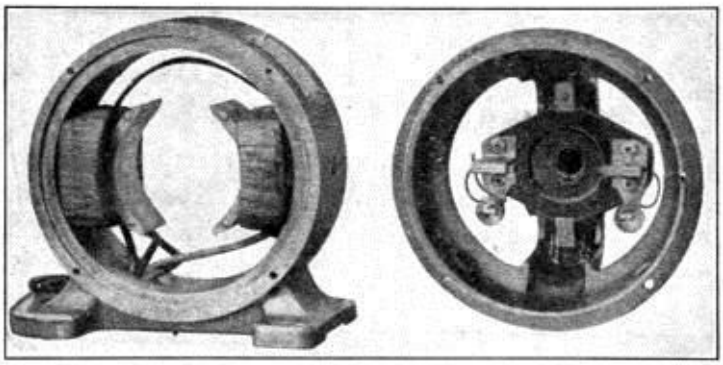


Fig. 300.—The frame and electromagnet (at left), front bracket and brush holder (at right) of the motor shown in Fig. 299.

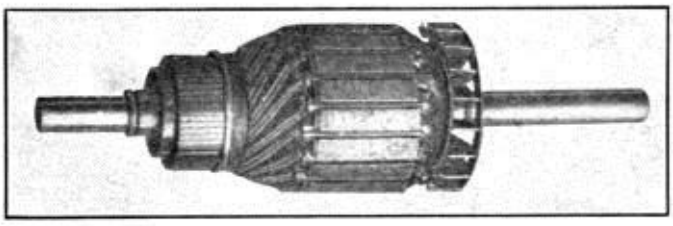


Fig. 301.—The armature of a motor.

Рис. 300. — Рама и электромагнит (слева), передний кронштейн и держатель щетки (справа) двигателя, показанного на рис. 299.
Рис. 301. — Анкер двигателя.

306. Практические двигатели имеют много катушек на якоре с соответствующим количеством сегментов на коммутаторе. Большое количество катушек и сегментов

коммутатора позволяет одной из катушек проявлять максимальную эффективность в каждый момент времени, благодаря чему обеспечивается постоянная сила для вращения якоря, что обеспечивает его плавную работу. На рис. 299 показан готовый к использованию двигатель мощностью 1/2 лошадиной силы, на рис. 300 показаны рама и полюса, а также передний кронштейн и держатель щеток, а на рис. 301 показан якорь.

Важные темы

1. Динамо, четыре основных части, действие (а) для переменного тока, (б) для постоянного тока.

2. Электродвигатель: (а) основные части, (b) действие.

Упражнения

1. *Почему* в якоре динамо-машины возникает переменный ток?

2. *Как* генерируется этот ток? Дайте подробные объяснения.

3. Каков результат применения закона Ленца к динамо-машине?

4. Примените первые два закона электромагнитной индукции к динамо-машине.

5. Какова мощность динамо-машины, если она производит ток 40 ампер при напряжении 110 вольт?

6. Какая мощность должна быть подана на этот динамо, если его КПД составляет 90 процентов?

7. Двигатель потребляет 10 ампер тока при напряжении 220 вольт; какова *мощность* тока в *ваттах*? Если эффективность этого двигателя составляет 95 процентов, сколько лошадиных сил механической энергии он может развивать?

8. Объясните, почему изменение направления тока в якоре двигателя меняет направление вращения.

9. Рассчитайте стоимость работы стиральной машины с двигателем мощностью 1/2 лошадиной силы в течение 2 часов, если стоимость электроэнергии составляет 10 центов за киловатт-час.

10. Для работы швейной машины используется двигатель мощностью 1/8 лошадиной силы. Если она будет работать в течение 3 часов, какова будет стоимость при цене 11 центов за киловатт-час?

(3) Индукционная катушка и трансформатор

307. Индукционная катушка. Практически все электрические токи производятся либо гальваническими элементами, либо динамомашинами. Однако часто бывает, что для *повышения эффективности*, *удобства или экономии* желательно изменить ЭДС используемого тока ( ). Поэтому широко используются *индукционная катушка* и *трансформатор* — устройства для изменения ЭДС электрических токов. *Индукционная катушка* (см. рис. 302) состоит из *первичной* катушки из толстой проволоки P (рис. 303), намотанной на сердечник из мягкой железной проволоки, и *вторичной* катушки S из нескольких тысяч витков тонкой проволоки. В цепи с первичной катушкой находится батарея B и прерыватель тока K, который работает как прерыватель на электрическом

звонке. Концы вторичной катушки подключаются к клеммам или искровым точкам, как показано на D.

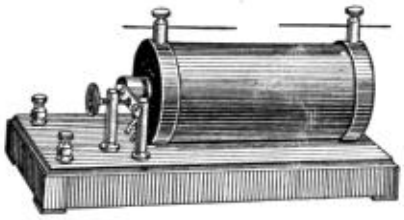


FIG. 302.—An induction coil.

Рис. 302. — Индукционная катушка.

Ток от батареи протекает через первичную катушку, намагничивая железный сердечник. Магнетизм в сердечнике притягивает конец прерывателя из мягкого железа, перемещая его и размыкая цепь на винтовом контакте K. Это резко останавливает ток, и сердечник сразу теряет свой магнетизм. Пружинная опора прерывателя теперь возвращает его обратно к контакту T, снова замыкая цепь. Вся операция повторяется, прерыватель быстро вибрирует, непрерывно открывая и закрывая цепь.

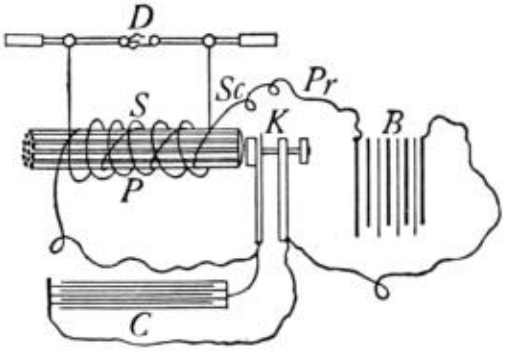


FIG. 303.—Diagram showing the parts of an induction coil.

Рис. 303. — Схема, показывающая части индукционной катушки.

308. Генерирование индуцированных токов во вторичной обмотке. Когда ток протекает через *первичную обмо*тку ( ), он создает магнитное поле в *сердечнике*. Когда ток прерывается, поле исчезает. Увеличение и уменьшение поля сердечника индуцирует ЭДС во вторичной обмотке в соответствии с первым законом электромагнитной индукции. Создаваемая ЭДС зависит от (а) количества витков во вторичной обмотке, (б) силы магнитного поля и (в) скорости изменения поля. Скорость изменения поля быстрее при размыкании, чем при замыкании. Когда цепь замкнута, ток достигает полной силы примерно за 1/10 секунды, а при размыкании ток прекращается примерно за 0,00001 секунды, так что индуцированная ЭДС при «размыкании» примерно в 10 000 раз больше, чем при замыкании. Чтобы увеличить внезапность «замыкания» и «размыкания», в первичную цепь часто подключают конденсатор, параллельно прерывателю. (См. рис. 303, C.*)* Этот конденсатор обеспечивает место для удержания скачка тока в момент, когда прерыватель размыкает цепь. Этот накопленный заряд усиливает ток при замыкании, вызывая гораздо более резкое изменение магнитного поля с соответствующим увеличением ЭДС. Индуцированные токи от индукционных катушек иногда называют *фарадеевскими токами* в честь Фарадея, открывшего электромагнитную индукцию. Они используются для работы искровых устройств на газовых и бензиновых двигателях, а также во многих устройствах и экспериментах, в которых используется высоковольтное электричество.

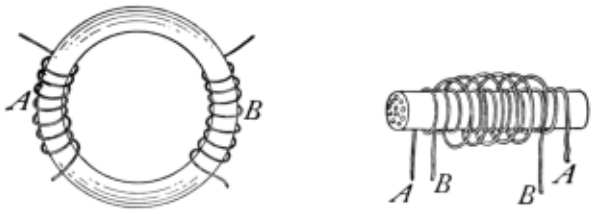


FIG. 304.—The transformer has a closed core; the induction coil, an open core.

Рис. 304. Трансформатор имеет замкнутый сердечник, а индукционная катушка — размыкающийся сердечник.

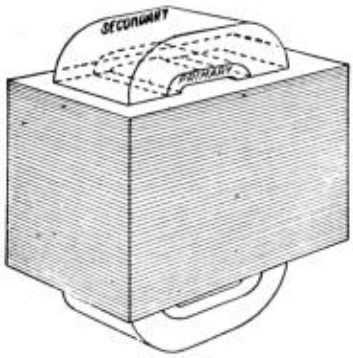


FIG. 305.—The laminated iron core of a transformer.

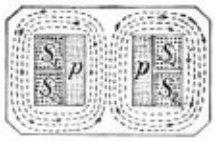


FIG. 306.—Cross-section of the transformer shown in Fig. 305 showing the magnetic field around the primary and secondary coils.

Рис. 305. — Laminated железный сердечник трансформатора.
Рис. 306. — Поперечное сечение трансформатора, показанного на рис. 305, с изображением магнитного поля вокруг первичной и вторичной катушек.

309. Трансформатор. Он похож на индукционную катушку в том, что использует *первичную* и *вторичную* катушки, а также железный сердечник для проведения магнитного поля. (См. рис. 304.) Они отличаются тем, что трансформатор имеет *закрытый* сердечник или сердечник, образующий непрерывную железную цепь, в то время как индукционная катушка имеет *открытый* сердечник, или сердечник, в котором магнитное поле должно проходить в воздухе от северного к южному полюсу сердечника. ный трансформатор всегда должен использоваться с *переменным* током, в то время как индукционная катушка может использовать как постоянный, так и переменный ток. Кроме того, *индукционная* катушка всегда производит более высокую ЭДС, в то время как трансформатор может производить ЭДС во вторичной катушке, которая может быть выше или ниже, чем в первичной. Первый называется *«повышающим»*, а второй — *«понижающим»* трансформатором. Переменный ток в первичной обмотке трансформатора создает *переменный магнитный поток* в железном сердечнике. Этот железный сердечник имеет *ламинированную конструкцию* (см. рис. 305), чтобы предотвратить нагрев, который мог бы возникнуть при использовании цельного сердечника. Переменный магнитный поток индуцирует во вторичной обмотке ЭДС в соответствии со следующим правилом. Отношение *числа витков* в *первичной* обмотке к *числу витков* во *вторичной* обмотке равно отношению электродвижущих сил в этих обмотках. Если вторичная обмотка имеет 8 витков, а первичная — 4, электродвижущая сила во вторичной обмотке будет в два раза больше, чем в первичной. Или, если в первичной обмотке трансформатора (рис. 306) электродвижущая сила составляет 110 вольт, во вторичной обмотке она будет равна 220 вольтам.

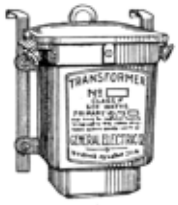


Fig. 307.—A commercial transformer.

Рис. 307. — Промышленный трансформатор.

310. Использование трансформаторов. В системах электрического освещения динамо-машины часто производят переменный ток напряжением от 1000 до 12 000 вольт. Подавать ток такого напряжения в жилые и коммерческие здания очень опасно, поэтому трансформаторы устанавливаются снаружи зданий, чтобы «понизить» высоковольтный ток до 110 или 220 вольт. Ток для освещения, поступающий в дом, не идет напрямую от динамо-машины. Это индуцированный ток, производимый трансформатором, установленным рядом с домом. (См. рис. 307.) В идеальном трансформаторе КПД будет равен 100 %. Это означает, что энергия, поступающая в первичную обмотку трансформатора, точно равна энергии во вторичной обмотке. Лучшие трансформаторы демонстрируют эффективность более 97 процентов. Потерянная энергия проявляется в виде тепла в трансформаторе. «Передача большой мощности в большом трансформаторе от одной цепи к другой, полностью отдельной и независимой, без какого-либо движения или шума и практически без потерь, является одним из самых удивительных явлений, подконтрольных человеку».

311. Ртутный дуговой выпрямитель — это устройство для преобразования переменного тока в постоянный. Оно часто используется для зарядки аккумуляторных батарей, когда электроэнергетическая компания поставляет только переменный ток. Он состоит из вакуумной колбы, содержащей два углеродных или графитовых электрода, обозначенных на рис. 308 *буквой G*, и ртутный электрод, обозначенный *буквой M*. Установлено, что ток проходит через такую колбу только от графита к ртути, но не в обратном направлении. При работе устройства вторичные клеммы трансформатора переменного тока T подключаются к графитовым клеммам выпрямителя. Провод, подключенный к центру вторичной обмотки трансформатора в точке C, подсоединяется к *отрицательной* клемме аккумуляторной батареи *SB. Положительный* полюс аккумуляторной батареи соединен с ртутным электродом выпрямительной трубки через реактивную или дроссельную катушку R. Эта катушка служит для поддержания дуги между переменными токами. *Sw* — пусковой выключатель, используемый только для зажигания дуги. Он открывается сразу после того, как трубка начинает светиться.

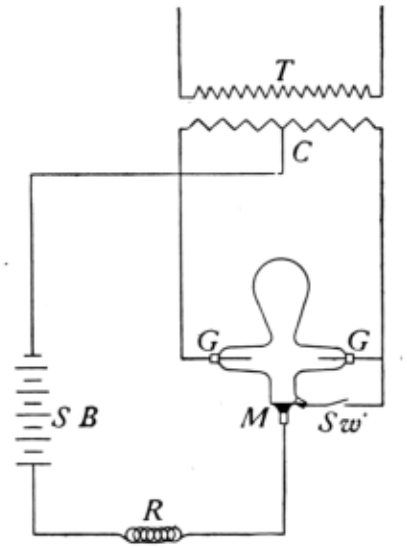


FIG. 308.—Diagram of a mercury arc rectifier.

Рис. 308. Схема ртутного дугового выпрямителя.

Важные темы

Трансформатор, индукционная катушка, ртутный дуговой выпрямитель, конструкция, действие; назначение каждого из них.

Упражнения

1. Возникает ли искра индукционной катушки при «замыкании» или «размыкании»? Почему?

2. Каким должно быть относительное количество витков на первичной и вторичной обмотках трансформатора, если он получает ток напряжением 220 вольт и подает ток напряжением 110 вольт? Также покажите на схеме.

3. Будет ли трансформатор работать на постоянном токе? Почему?

4. Объясните, почему прерыватель является необходимой частью индукционной катушки, а не трансформатора.

5. Если в здании используется восемьдесят ламп накаливания на 110 вольт, что необходимо для их освещения, если они соединены последовательно? Почему это нецелесообразно?

6. Если лампа мощностью 16 свечей требует 0,5 ампера при напряжении 110 вольт, какой ток и напряжение потребуются для работы 12 таких ламп, соединенных параллельно?

7. Сколько будет стоить работа этих ламп по 4 часа в сутки в течение 30 дней при цене 10 центов за киловатт-час?

8. Если ртутный дуговой выпрямитель потребляет 5 ампер тока при 110 вольтах переменного тока для производства 5 ампер постоянного тока при 70 вольтах, какова эффективность выпрямителя?

9. Рассчитайте тепло, выделяемое 40-ваттной вольфрамовой лампой за 1 минуту.

10. Рассчитайте тепло, выделяемое 60-ваттной угольной лампой накаливания за 1 час.

(4) ТЕЛЕФОН

312. Электрический телефон. Это устройство для воспроизведения человеческого голоса на расстоянии с помощью электрического тока. Современный электрический телефон состоит как минимум из четырех отдельных частей (см. рис. 312): *передатчика*, индукционной катушки, электрической батареи и *приемника*. Первые три из них участвуют в отправке или *передаче* по соединительным проводам колеблющегося электрического тока, который был изменен волнами человеческого голоса. Приемник подвергается воздействию колеблющегося тока и воспроизводит голос. В нашем исследовании мы рассмотрим его в первую очередь.

313. Телефонный приемник был изобретен в 1876 году Александром Грэмом Беллом. Он состоит из постоянного стального магнита U-образной формы с катушкой из тонкой изолированной медной проволоки вокруг каждого полюса. (См. рис. 310.) Диск из тонкого листового железа поддерживается таким образом, что его центр не касается полюсов магнита . Жесткая резиновая крышка или наушник с отверстием в центре прикручивается, чтобы надежно удерживать железный диск на месте.

FIG. 309.—The simplest telephone system. It consists of two telephone receivers connected in series on a circuit. It will work, but not satisfactorily.

Рис. 309. — Простейшая телефонная система. Она состоит из двух телефонных трубок, соединенных последовательно в цепи. Она будет работать, но не удовлетворительно.

Принцип действия трубки можно понять из следующего объяснения: электрический ток, поступающий в трубку, исходит от вторичной обмотки индукционной катушки; это переменный ток, колеблющийся вперед и назад в такт с волнами голоса, воздействующими на него в передатчике. Этот переменный ток протекает по обмоткам на полюсах постоянного магнита. Когда этот ток протекает в одном направлении, его магнитное поле усиливает поле постоянного магнита. Это более сильное магнитное поле притягивает тонкий железный диск, расположенный перед полюсами магнита, немного ближе к ним. Когда ток в катушках течет в другом направлении, его магнитное поле ослабляет поле стального магнита, и диск оттягивается назад силой собственной упругости. Таким образом, диск приемника вибрирует в соответствии с переменным током и воспроизводит те же звуки, которые были произнесены в передатчике.

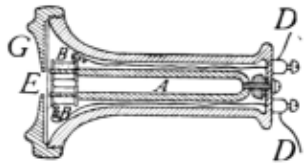


FIG. 310.—A telephone receiver. This receiver has a permanent horseshoe magnet with a coil about each pole.

Рис. 310. Телефонный приемник. Этот приемник имеет постоянный подковообразный магнит с катушкой вокруг каждого полюса.

314. Телефонный передатчик. — Описанный выше телефонный приемник обладает высокой чувствительностью при воспроизведении звука, но не подходит для использования в качестве передатчика или устройства для отправки сигналов. Обычно используемый

передатчик представлен на поперечном срезе на рис. 311. На этом рисунке за микрофоном находится тонкий угольный диск D. За этим диском находится круглый отсек, содержащий гранулированный уголь g. Провода цепи подключены к угольному диску и к задней части корпуса, содержащего гранулированный уголь. Цепь, проходящая через передатчик , также включает в себя гальваническую или аккумуляторную батарею и первичную обмотку индукционной катушки. (См. рис. 312.)

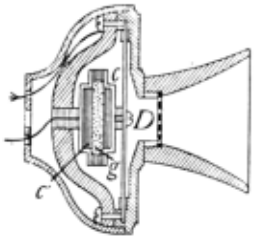


FIG. 311.—A telephone transmitter.

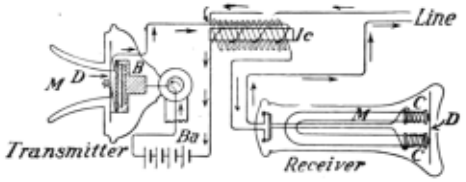


FIG. 312.—Telephone instruments at one end of a talking circuit.

Рис. 311. — Телефонный передатчик.
Рис. 312. — Телефонные аппараты на одном конце разговорной цепи.

315. Действие передатчика объясняется следующим образом: когда звуковые волны голоса ударяются о угольный диск, последний вибрирует, попеременно увеличивая и уменьшая давление на гранулированный уголь. Когда давление *увеличивается*, электрическое сопротивление гранулированного угля *уменьшается*, а когда давление на него *уменьшается*, его сопротивление *увеличивается*. Это изменение сопротивления вызывает колебания электрического тока*, которые* точно соответствуют воздействующим на него звуковым волнам голоса.

316. Полная телефонная система, работающая от локальной батареи, показана на рис. 312. Человек, говорящий в передатчик, вызывает колебания электрического тока в передатчике, как описано в ст. 315. Этот колеблющийся ток проходит через первичную обмотку индукционной катушки *Ic.* Этот колеблющийся ток создает колеблющееся магнитное поле в ее сердечнике. Это колеблющееся поле индуцирует *переменный* ток во вторичной обмотке, который колеблется так же, как и первичный ток, но с гораздо более высокой ЭДС, чем последний. Переменный ток проходит к приемнику, который воспроизводит речь, как описано в ст. 313. Линейная цепь включает вторичную обмотку индукционной катушки, приемный прибор и приемник передающего прибора, так что голос воспроизводится в обоих приемниках. На каждой станции установлен электрический звонок для привлечения внимания нужных абонентов. Движение крючка приемника при снятии трубки отключает звонок и замыкает цепь разговора. Последняя размыкается, а звонок включается, когда трубка снова вешается на место.

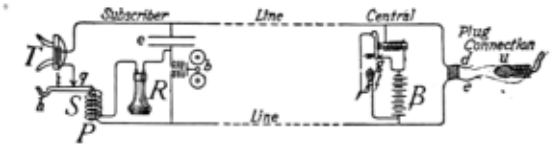


FIG. 313.—Diagram of a telephone system as used in a large exchange.

Рис. 313. — Схема телефонной системы, используемой в крупной телефонной станции.

В городах и поселках используемая телефонная система отличается от описанной тем, что обычно имеет одну большую батарею, размещенную в центральной АТС, вместо сухих элементов в каждом аппарате. (См. рис. 313.) Кроме того, оператор в *центральной АТС* вызывается простым снятием трубки с крючка, а не «звонком» абонента. Однако принцип действия передатчика, индукционной катушки и приемника одинаков во всех телефонах.

Важные темы

1. Приемник: детали, принцип действия.

2. Передатчик: детали, принцип действия.

3. Индукционная катушка, звонок, линейные провода и т. д.

4. Действие всего устройства.

Упражнения

1. Назовите три важных электрических закона или принципа, которые используются в работе телефона. Каково применение каждого из них?

2. Соедините клеммы телефонной трубки с чувствительным гальванометром и нажмите на диафрагму трубки; вы заметите отклонение гальванометра. Отпустите диафрагму, и вы увидите отклонение в противоположном направлении. Объясните.

3. Проходит ли ток, проходящий через передатчик, к приемнику устройства? Объясните.

4. Повторяет ли телефонная трубка, которой пользуется человек, речь этого человека? Объясните.

5. Сколько ламп на 0,5 ампера можно использовать с предохранителем на 6 ампер?

6. Почему необходимо подключать реостат последовательно со стереоптиконом или киноаппаратом, в то время как реостат не используется с дуговыми лампами на улице?

7. Какую световую мощность должна давать 60-ваттная угольная лампа накаливания, если ее эффективность составляет 3,4 ватта на световую мощность?

8. Три лампы накаливания с сопротивлением 100, 150 и 240 Ом соответственно соединены параллельно. Каково их совокупное сопротивление?

Обзор: индуцированные токи

Индуцированные токи; 3 закона, иллюстрации.

Конструкция, действие и применение — магнито, динамо, индукционная катушка, трансформатор, двигатель, телефон. Ртутный дуговой выпрямитель.

Термины — первичная, вторичная, для катушек и токов, якорь, коммутатор, контактное кольцо, щетка, выпрямитель, открытый сердечник, последовательные, шунтирующие и составные соединения для динамо-машин.

ГЛАВА XV

ЗВУК

(1) Звук и волновое движение

317. Что такое звук? — На этот вопрос есть два ответа, которые можно проиллюстрировать следующим образом. Предположим, что будильник настроен так, что он зазвонит через неделю, и моряки, которые сразу же отплывают, ставят его на безжизненной скале в Тихом океане. Если в конце недели, когда ударник ударит по колокольчику, в радиусе ста миль не будет ни одного уха, будет ли произведен какой-либо звук? Теперь две точки зрения становятся очевидными, поскольку некоторые ответят «нет», а другие — «да». Те, кто отвечает «нет», считают, что звук — это *ощущение*, которое не возникает, если поблизости нет ушей, на которые оно может повлиять. Те, кто отвечает «да», понимают под термином «звук» *способ движения, способный воздействовать на слуховые нервы,* и что звук существует везде, где присутствуют такие движения. Последняя точка зрения называется *физической* и именно ее мы будем использовать в этом исследовании.

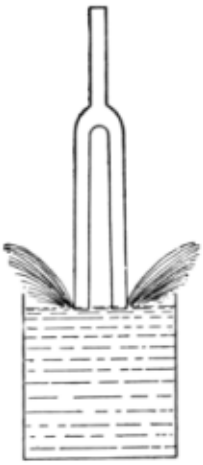


FIG. 314.—The tuning fork is vibrating.

Рис. 314. — Камертон вибрирует.

318. Источник звука. — Если проследить любой звук до его источника, то окажется, что он возникает в теле, находящемся в быстром движении, обычно в так называемом состоянии *вибрации*. Для иллюстрации возьмите камертон, ударьте по нему, чтобы заставить его вибрировать, и плотно прижмите его стержень к тонкому куску дерева; звук значительно усилится за счет вибрации дерева. Если теперь поместить вибрирующую камертонную вилку кончиками зубцов в воду, вибрация будет ясно видна по брызгам воды (рис. 314). Когда человек *говорит,* вибрирующее тело находится в *гортани* в верхней части трахеи. Его вибрацию можно ясно почувствовать рукой, положенной на горло во время разговора.

319. Звуковые среды. Обычно звуки доходят до уха через воздух. В этом случае воздух называется *средой для звука.* Другие вещества также могут служить средой для звука, например, если голова находится под водой, а два камня, также находящихся под водой, ударяются друг о друга, слышен резкий звук. Кроме того, если один конец деревянной палки приложить к уху, а другой конец палки поцарапать булавкой, звук будет более отчетливо слышен через дерево, чем через воздух. Вспомните какой-нибудь пример из собственного опыта, когда твердое тело действовало как среда для звука. Если электрический звонок поместить в колбу, присоединенную к воздушному насосу, как показано на рис. 315, то при удалении воздуха громкость звука уменьшается, что указывает на то, что в идеальном вакууме звук не передается. Этот эффект вакуума на передачу звука сильно отличается от его влияния на излучение тепла и света. Известно, что и тепло, и свет проходят через вакуум, поскольку оба поступают на Землю от Солнца через пространство, которое, насколько нам известно, не содержит воздуха или других веществ. Звук отличается от них тем, что он всегда передается через какое-либо материальное тело и не может существовать в вакууме.

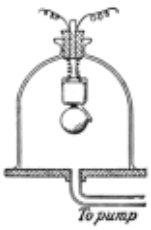


FIG. 315.—Sound does not travel in a vacuum.

Рис. 315. Звук не распространяется в вакууме.

320. Скорость звука. — Каждый замечал, что звуку требуется время, чтобы пройти от одного места к другому. Если мы видим выстрел из ружья на расстоянии, то звук выстрела слышен через несколько секунд после того, как мы видим дым или вспышку. Время , проходящее между вспышкой молнии и раскатом грома, показывает, что звуку требуется время, чтобы пройти от одного места к другому. Были проведены тщательные эксперименты по определению скорости звука. Один из методов точно измеряет время, необходимое для прохождения звука выстрела между двумя станциями, расположенными на расстоянии нескольких миль друг от друга. На каждой станции устанавливается пистолет или пушка. Они стреляют поочередно, сначала одна станция, а затем другая, чтобы избежать ошибки в расчетах из-за движения ветра. Этот способ определения скорости звука не является точным. Другие методы, более точные, чем описанный выше, дали точные значения скорости звука. Результаты ряда экспериментов показывают, что при температуре замерзания, 0 °C, скорость звука в воздухе составляет 332 метра или 1090 футов в секунду. На скорость звука в воздухе влияет температура: она увеличивается на 2 фута или 0,6 метра в секунду с каждым градусом повышения температуры выше 0 °C. Скорость уменьшается на ту же величину с каждым градусом C, на который воздух охлаждается ниже точки замерзания. Скорость звука в различных веществах была тщательно определена. В большинстве из них она выше, чем в воздухе. В воде скорость составляет около 1400 метров в секунду; в дереве, хотя скорость варьируется в зависимости от вида дерева, она в среднем составляет около 4000 метров в секунду; в латуни скорость составляет около 3500 метров, а в железе — около 5100 метров в секунду.

321. Природа звука. Мы заметили, что звук возникает в вибрирующем теле, что для его передачи из одного места в другое требуется среда и что он распространяется с определенной скоростью в данном веществе. Однако ничего не было сказано о *способе* передачи или о *природе звука*. Звуки продолжают исходить из будильника, даже если он помещен под стеклянный колпак. Очевидно, что ничто материальное не может пройти через стекло колпака. Однако, если мы считаем, что *звук передается волнами через вещества*, всему этому можно дать простое объяснение. Чтобы лучше понять природу звука, в следующем разделе будет рассмотрено изучение волн и волновых движений.

Важные темы

Звук: два определения, источник, среда, скорость, природа.

Упражнения

1. Приведите два примера из жизни, не связанных с лабораторией, которые подтверждают, что звук передается через другие материалы, кроме воздуха.

2. Назовите вибрирующую часть, которая является источником звука, в трех различных музыкальных инструментах.

3. Звук сильнее распространяется в твердых телах, жидкостях или газах? Как вы это объясните?

4. На каком расстоянии находится пароход, если звук его свистка слышен через 10 секунд после появления пара, при температуре 20 °C? Вычислите в футах и метрах.

5. На каком расстоянии находится молния, если гром слышен через 12 секунд после того, как видна вспышка, при температуре 25 °C?

6. Через четыре секунды после того, как видна вспышка молнии, слышен раскат грома. Температура составляет 90 °F. На каком расстоянии произошел разряд?

7. Выстрел слышен через 3 секунды после появления клуба дыма. На каком расстоянии находится оружие, если температура составляет 20 °C?

8. Взрыв происходит в 10 милях от вас. Сколько времени потребуется звуку, чтобы дойти до вас, если температура составляет 80 °F? Сколько времени при температуре 0 °F?

9. Через сколько времени после свистка он будет слышен, если расстояние составляет 1/4 мили, а температура 90 °F?

10. Взрыв динамита слышен через 2 минуты после появления клуба дыма. На каком расстоянии находится взрыв при температуре 77 °F?

(2) Волны[N] и движение волн

322. Видимые волны. — Лучше всего начать изучение движения волн с рассмотрения некоторых волн, которые знакомы большинству людей. Возьмем, к примеру, волны, движущиеся по поверхности воды (рис. 316). Они движутся вперед, но доски или щепки на поверхности просто поднимаются и опускаются, когда волны проходят мимо них. Они не уносятся волнами вперед. Поверхность воды просто поднимается и опускается, когда волны проходят мимо. Рассмотрим также волны, которые можно увидеть, проходящие по полю высокой травы или зерна. Такие волны возникают в результате изгиба и подъема стеблей, когда ветер проходит над ними. Кроме того, волны могут возникать в веревке, закрепленной на одном конце, при резком движении другого конца вверх и вниз. Эти волны движутся к концу веревки, где они *отражаются* и возвращаются. Три только что упомянутых типа волн являются примерами *поперечных* волн, идеальным случаем которых является движение частиц *под прямым углом* к траектории или направлению волны. Поэтому такие волны называются *поперечными* волнами.

Fig. 316.—Water waves.

Рис. 316. Водные волны.

323. Продольные волны. Другой вид волн встречается в телах, которые являются упругими и сжимаемыми и обладают инерцией, таких как газы и спиральные пружины. Такие волны можно изучить, рассматривая пружину как среду, через которую проходят волны. (См. рис. 318.)

Fig. 317.—The compression wave travels through the spring.

Рис. 317. — Волна сжатия проходит через пружину.

Если ударить по концу проволочной пружины, показанной на рис. 317, первые несколько витков пружины сжимаются. Поскольку пружина обладает упругостью, витки немного продвигаются вперед и сжимают следующие за ними, те, в свою очередь, сжимают следующие и так далее. Таким образом, волна *сжатия* движется к концу пружины, где она отражается и возвращается. Рассмотрим витки пружины, когда они движутся к концу. Из-за своей *инерции* они будут продолжать двигаться, пока не отделится друг от друга *больше*, чем вначале, прежде чем вернуться в свое обычное положение. Это состояние большего, чем

обычно, отделения витков пружины называется *разрежением.* Оно движется по пружине, следуя за волной сжатия. Сжатие и разрежение считаются вместе образующими полную волну. Поскольку витки проволоки движутся взад и вперед в направлении, параллельном направлению движения волны, эти волны называются *продольными.*

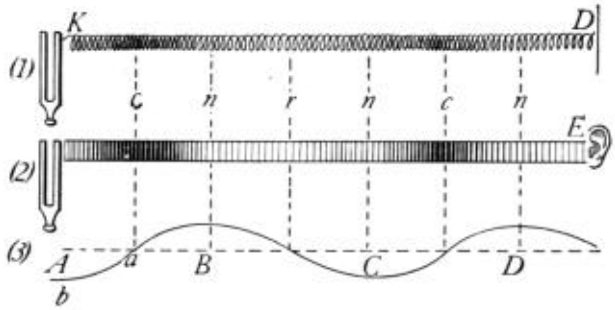


FIG. 318.—Longitudinal waves (1) in a spring, (2) in air, and (3) graphic representation showing wave length, condensations, and rarefactions.

Рис. 318. Продольные волны (1) в пружине, (2) в воздухе и (3) графическое представление, показывающее длину волны, сжатия и разрежения.

324. Передачу звука по воздуху можно понять, сравнив ее с процессом *передачи волны по проволочной пружине*. Рассмотрим легкую пружину (рис. 318, 1), прикрепленную к концу вибрирующего камертона K, а также к диафрагме D. Каждая вибрация камертона сначала сжимает, а затем раздвигает витки пружины. Эти импульсы передаются пружиной, как описано в ст. 315, и заставляют диафрагму вибрировать *с той же частотой*, что и камертон. Затем диафрагма издает звук, похожий на звук камертона. Предположим, что пружина заменена воздухом, а диафрагма — ухом человека E (рис. 318, 2). Когда зубцы камертона движутся к уху, они начинают сжиматься, а когда отходят назад — разрежаться. Камертон продолжает вибрировать, и эти импульсы распространяются, как и в пружине, со скоростью около 1120 футов в секунду. Они ударяют по диафрагме уха, заставляя ее двигаться вперед и назад или вибрировать с той же частотой, что и камертон, точно так же, как в случае с диафрагмой, прикрепленной к пружине.

325. Графическое представление звуковых волн. — Часто бывает желательно представить звуковые волны графически. Обычно для этого используется кривая, подобная той, что показана на рис. 318, 3. Эта кривая считается представлением ряда волн, движущихся в том же направлении, что и волны на рис. 318, 1 и 2, и имеющих ту же длину. Часть волны *A-B* представляет собой сжатие звуковой волны, а часть *B-C* — разрежение. Полная волна, состоящая из сжатия и разрежения, представлена частью кривой *A-C.* Часть кривой *B-D* также представляет *полную длину волны*, поскольку последняя определяется как *расстояние между двумя соответствующими частями соседних волн.* Кривая на рис. (318, 3) представляет не только длину волны, но и высоту волны или величину движения частиц вдоль волны. Это называется *амплитудой* и обозначается расстоянием *A-b.* Поскольку *громкость* или интенсивность звука зависит от величины перемещения частиц вдоль волны, *амплитуда* кривой используется для обозначения громкости представленного звука. Все характеристики звуковой волны могут быть графически представлены кривыми. Такие кривые будут часто использоваться в качестве помощи при объяснении явлений волнового движения как в звуке, так и в свете.

326. Отражение звука. — Установлено, что волна, распространяющаяся по проволочной пружине, отражается, когда достигает ее конца ( ) и возвращается по пружине. Аналогичным образом звуковая волна в воздухе отражается при попадании на поверхность тела. Если волна попадает перпендикулярно, она возвращается по линии, от которой она пришла, однако, если она попадает под другим углом, она не возвращается по той же линии, но, как и

в других случаях отраженного движения, направление *отраженной* волны описывается *законом отраженного движения* следующим образом: *угол отражения всегда равен углу падения.* Этот закон иллюстрируется на рис. 319. Предположим, что серия волн, исходящих от источника звука, движется от Н к О. После попадания на поверхность *IJ* волны отражаются и движутся к L по линии *OL.* Пусть *PO* перпендикулярна поверхности *IJ* в точке О. Тогда *HOP — это угол* падения, а *LOP — угол отражения.* По закону отраженного движения эти углы равны. В обычной комнате, когда человек говорит, звуковые волны, отраженные от гладких стен, усиливают звуковые волны, движущиеся непосредственно к слушателям. Именно по этой причине обычно легче говорить в комнате, чем на открытом воздухе. Часто можно увидеть и другие примеры усиления звука за счет отражения. Так, *ушная трубка* (рис. 320) использует принцип отражения и концентрации звука. Так называемые *резонаторы* иногда размещаются за динамиками в больших залах, чтобы отражать звуковые волны к аудитории.

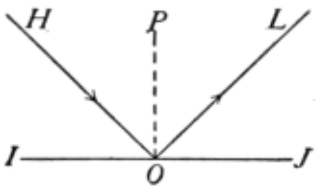


FIG. 319.—Law of reflection.

FIG. 320.—An ear trumpet.

Рис. 319. — Закон отражения.
Рис. 320. Ушная трубка.

327. Эхо. *Эхо — это повторение звука, вызванное его отражением от какой-либо удаленной поверхности*, такой как здание, утес, облака, деревья и т. д. Время между возникновением звука и восприятием его эха — это время, которое требуется звуку, чтобы пройти от источника до отражающего тела и обратно к слушателю. Эксперименты показали, что ощущение звука сохраняется около одной десятой секунды. Поскольку скорость звука при 20 °С составляет около 1130 футов в секунду, за одну десятую секунды звуковая волна проходит около 113 футов. Если отражающая поверхность находится на расстоянии около 56 футов, за *коротким* звуком сразу же следует его эхо, которое слышно через одну десятую секунды после исходного звука. Отраженный звук усиливает исходный звук, если отражающая поверхность находится на расстоянии менее 56 футов. Однако, если расстояние до отражающей поверхности значительно превышает 56 футов, отраженный звук не смешивается с исходным, а образует отчетливое эхо. Эхо в больших залах, особенно с большими гладкими стенами, может очень серьезно повлиять на четкое восприятие звука. Такие помещения считаются имеющими плохие *акустические* свойства. Мебель, драпировка и ковры помогают гасить эхо за счет рассеянного отражения. Мормонский табернакль в Солт-Лейк-Сити, штат Юта, является прекрасным примером здания, в котором отражающие поверхности стен и потолка имеют такую форму и материал, что его акустические свойства являются замечательными: булавка, упавшая на одном конце, ясно слышна на другом конце, находящемся на расстоянии около 200 футов.

Важные темы

1. Волны: поперечные, продольные; длина волны, сжатие, разрежение.

2. Волновое движение: в спиральной пружине, в воздухе, на воде.

3. Отражение волн: закон, эхо.

Упражнения

1. Охотник слышит эхо через 8 секунд после выстрела из ружья. На каком расстоянии находится отражающая поверхность, если температура составляет 20 °C?

2. На каком расстоянии находится отражающая поверхность здания, если эхо шагов возвращается через 1 секунду при температуре 10 °C?

3. Почему в комнате легче говорить или петь, чем на улице?

4. Нарисуйте кривую, представляющую движение волны. Сделайте ее ровно трех полных длин волны и объясните, почему ваша кривая имеет такую длину. Укажите части кривой, которые соответствуют сгущению и разрежению.

5. Сколько времени занимает звук «падающей булавки», чтобы достичь человека, находящегося в дальнем конце здания, упомянутого в конце статьи 327?

6. Эхо слышно через 6 секунд. На каком расстоянии находится отражающая поверхность, если температура составляет 70 °F?

7. Почему открытые эстрады для оркестров обычно имеют изогнутую заднюю часть над оркестром?

8. Человек, находящийся рядом с лесом, зовет друга. Через 4 секунды слышно эхо. Как далеко он находится от леса?

9. Возможно ли услышать сильный взрыв на Луне? Объясните.

10. Если в 18:00 в форте был произведен выстрел из пушки, то в какое время этот выстрел услышал человек, находящийся в 25 милях от форта, если температура воздуха была 10 °C?

(3) Интенсивность и высота звуков

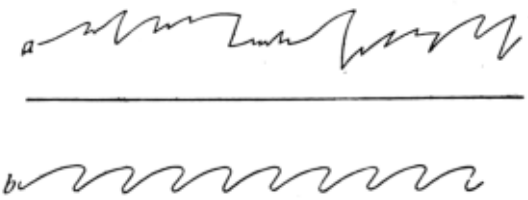


Fig. 321.—Graphic representations of (*a*) a noise, (*b*) a musical sound.

Рис. 321. Графическое представление (*а*) шума, (*б*) музыкального звука.

328. Различие между музыкальными звуками и шумами. Иногда возникает вопрос: в чем разница между *шумом* и *музыкальным звуком*? Было установлено, что последний производится равномерными и регулярными колебаниями ( ), такими как колебания камертона или струны фортепиано. Шум, с другой стороны, характеризуется внезапными или нерегулярными колебаниями, такими как колебания, производимые повозкой, едущей по каменистой улице. Эти различия могут быть представлены графически, как на рис. 321, (a) представляет шум, (b) — музыкальный тон.

FIG. 322.—Curve *b* represents a tone of greater intensity.

Рис. 322. Кривая b представляет звук большей интенсивности.

329. Характеристики музыкальных звуков. Музыкальные тоны отличаются друг от друга тремя способами или, как говорят, имеют *три характеристики*: *интенсивность*, *высоту* и *качество*. Таким образом, два звука могут отличаться только интенсивностью или *громкостью*, то есть быть одинаковыми во всех других отношениях, кроме этого, как когда струна фортепиано сначала ударяется мягко, а затем сильнее. Второй звук воспринимается как более громкий. Разница обусловлена большей *амплитудой* колебаний, вызванной большим количеством затраченной энергии. На рис. 322 эти различия показаны графически. Кривая b представляет звук большей интенсивности или громкости, поскольку его амплитуда колебаний показана как большая.

330. Условия, влияющие на интенсивность звука. На интенсивность звуков также влияет *площадь* вибрирующего тела. Это можно продемонстрировать, приведя в колебание камертон. Поскольку площадь вибрирующей части невелика, звук слышен только на небольшом расстоянии от камертона. Однако если прижать стержень вибрирующего камертона к дверной панели или верхней части коробки, звук будет слышен по всей комнате. Стержень камертона передал свои колебания дереву. Поскольку площадь колебаний стала больше, интенсивность звука значительно увеличилась, создав волну большей амплитуды. Тот же принцип используется в резонаторах музыкальных инструментов, таких как фортепиано, скрипка и т. д. Общее наблюдение показывает, что громкость звука уменьшается с увеличением расстояния от источника. Это происходит из-за увеличения поверхности сферических звуковых волн, распространяющихся во всех направлениях от источника. Тщательные эксперименты показали, что в однородной среде *интенсивность звука обратно пропорциональна квадрату расстояния от его источника.* Если звук ограничен так, что не может распространяться, например, звук, проходящий через трубку для разговора, он сохраняет свою интенсивность на значительном расстоянии. *Ушная трубка* (см. рис. 320) также использует этот принцип. Она сконструирована таким образом, что звук из определенной области *концентрируется* путем отражения в гораздо меньшей области с соответствующим увеличением интенсивности. *Мегафон* (рис. 323) и *труба для разговора* направляют звуковые волны голоса в одном направлении, чтобы они не распространялись широко, в результате чего при их использовании голос может быть слышен в несколько раз дальше, чем обычно. На интенсивность звука также влияет *плотность* передающей среды. Таким образом, звук, произведенный на вершине горы, слабее и тише, чем звук, произведенный в долине. Звук колокола в приемнике воздушного насоса становится слабее по мере того, как из него выкачивается воздух. Таким образом, на интенсивность звука влияют *четыре* фактора: площадь вибрирующего тела, *амплитуда* его колебаний, *расстояние* до источника и *плотность* передающей среды. Следует запомнить точное влияние каждого из этих факторов.

FIG. 323.—The megaphone.

Рис. 323. Мегафон.

331. Высота звука. — Наиболее характерным различием между музыкальными звуками является их *высота*. Некоторые звуки имеют высокую высоту, например, звуки, издаваемые многими насекомыми и птицами. Другие имеют низкую высоту, например, ноты бас- - барабана или звук грома. Как производятся ноты разной высоты, можно показать с помощью сирены (рис. 324). Это диск, установленный так, чтобы вращаться вокруг оси. В нем просверлено несколько рядов отверстий, расположенных концентрическими кругами. Количество отверстий в последующих рядах увеличивается от центра к краям. Если при быстром вращении сирены воздух проходит через трубку к ряду отверстий, слышен чистый музыкальный тон. Этот тон обусловлен последовательностью импульсов в воздухе, создаваемых рядом отверстий в вращающемся диске, которые поочередно перекрывают и пропускают поток воздуха с очень короткими интервалами. Если поток направлен на ряд отверстий, расположенных ближе к окружности, тональность выше, если на ряд, расположенный ближе к центру, тональность ниже. Или, если поток направлен на один и тот же ряд отверстий, тональность повышается при увеличении скорости и понижается при уменьшении скорости. Эти факты указывают на то, что тональность звука обусловлена количеством импульсов или колебаний, которые попадают в ухо каждую секунду; а также на то, *что чем выше частота колебаний, тем выше тональность.*

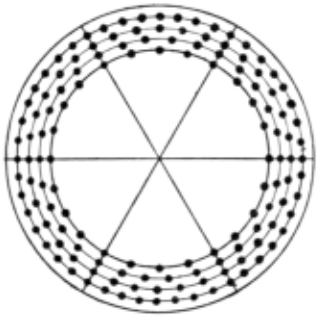


FIG. 324.—A siren.

Рис. 324. Сирена.

332. Мажорная гамма. — Если сирена изготовлена с восемью рядами отверстий, она может указывать на соотношение между нотами *мажорной гаммы*. Для этого количество отверстий в последовательных рядах должно быть 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48. Если диск, сконструированный таким образом, быстро вращается с постоянной скоростью, поток воздуха, направленный последовательно на все ряды, производит тона гаммы. Эти факты указывают на то, что относительные числа колебаний нот любой *мажорной гаммы* имеют такое же соотношение, как числа 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48.

Физики считают, что нота, называемая средним до, имеет 256 колебаний в секунду. Это дает следующие *фактические* числа *колебаний* для остальных нот мажорной гаммы, начинающейся со «среднего до»: D — 288, E — 320, F — 341,3, G — 384, A — 426,6, B — 480, C' — 512. Однако музыканты обычно используют гамму с немного более высоким тоном. *Международный* стандарт высоты тона в этой стране и в Европе — это тот, в котором «ля» имеет 435 колебаний в секунду. Это соответствует 261 колебанию для среднего до.

333. Соотношение между скоростью, длиной волны и количеством колебаний в секунду. — Поскольку ноты различных музыкальных инструментов оркестра гармонируют как на расстоянии, так и в месте их произведения, очевидно, что ноты всех высот распространяются с *одинаковой скоростью*. Ноты высокой высоты, имеющие высокую частоту колебаний, производят больше волн в секунду, чем ноты низкой высоты,

следовательно, первые короче вторых. Следующая формула дает соотношение между скоростью (v), длиной волны (l) и количеством колебаний в секунду (n):

$$v = l \times n, \quad \text{или} \quad l = v/n$$

то есть *скорость звуковой волны равна количеству колебаний в секунду, умноженному на длину волны, или длина волны равна скорости, деленной на количество колебаний в секунду*. Эта формула также может быть использована для нахождения количества колебаний, когда известны длина волны и скорость.

Важные темы

1. Разница между шумом и музыкой.

2. Факторы, влияющие на интенсивность: площадь, амплитуда, плотность, расстояние.

3. Высота звука, мажорная гамма, относительные числа колебаний.

4. Связь между скоростью, длиной волны и частотой колебаний.

Упражнения

1. Приведите пример из собственного опыта каждого из факторов, влияющих на интенсивность.

2. Напишите относительные числа колебаний мажорной гаммы, в которой *до* имеет 120 колебаний.

3. Какова длина волны «ля» международного концертного строя при 25 °C? Вычислите в футах и сантиметрах.

4. При какой температуре звуковые волны в воздухе, унисонные с «средним до», будут иметь длину ровно 4 фута?

5. Объясните принцип действия мегафона.

6. Какой тон имеет волны длиной 3 фута при 25 °C?

7. Для чего нужна «резонансная дека» фортепиано?

8. Два человека находятся на расстоянии 1000 и 3000 футов соответственно от туманного рожка. Какова относительная интенсивность звуков, слышимых этими двумя людьми?

9. Речевой тон голоса среднего мужчины имеет 160 колебаний в секунду. Какова длина волн, производимых им при температуре 20 °C?

(4) Музыкальные гаммы и резонанс

334. Музыкальный интервал *обозначает соотношение между высотами звуков*[10] *двух нот*, как показано в результатах эксперимента с сиреной. Самый простой интервал, или соотношение между двумя нотами, — это *октава*, C':C, или 2:1 (48:24). Другие важные интервалы с соответствующими соотношениями — это *квинта*, G:C, или 3:2 (36:24); *секста,* A:C, или 5:3 (40:24); *кварта,* F:C, 4:3 (32:24); *большая терция,* E:C, или 5:4 (30:24); и *малая терция,* G:E, 6:5. Интервал между любыми двумя нотами можно определить, найдя соотношение между числами колебаний этих двух нот. Таким образом, если одна нота

производится 600 колебаниями в секунду, а другая — 400, интервал составляет 3:2, или *квинта,* и это будет распознано музыкантом, услышавшим ноты, звучащие вместе или одна за другой. Ниже приведена таблица музыкальных номенклатур, показывающая различные отношения между нотами мажорной гаммы.

ТАБЛИЦА МУЗЫКАЛЬНЫХ НОМЕНКЛАТУР

Название ноты	C	D	E	F	G	A	B	C´
Частота в терминах «до»	*n*	*9/8n*	*5/4n*	*4/3n*	*3/2n*	*5/3n*	*15/8n*	*2n*
Интервалы	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	
Название ноты в вокальной музыке	до	ре	ми	фа	соль	ля	ти	до
Скрипичный ключ.								
[Музыка]								
Басовый ключ.								
[Музыка]								
Международный тон скрипичного ключа	261	293,6	326,3	348	391,5	435	489,4	522
Научная шкала	256	288	320	341,3	384	426,6	480	512
Относительные числа колебаний	24	27	30	32	36	40	45	48

TABLE OF MUSICAL NOMENCLATURES

Name of note	C	D	E	F	G	A	B	C′
Frequency in terms of "do"	n	$\frac{9}{8}n$	$\frac{5}{4}n$	$\frac{4}{3}n$	$\frac{3}{2}n$	$\frac{5}{3}n$	$\frac{15}{8}n$	$2n$
Intervals	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	
Name of note in vocal music	do	re	mi	fa	sol	la	ti	do
Treble clef.								
Bass clef.								
International pitch of treble clef	261	293.6	326.3	348.	391.5	435	489.4	522
Scientific scale	256	288	320	341.3	384	426.6	480	512
Relative vibration numbers.	24	27	30	32	36	40	45	48

335. Мажорные и минорные трезвучия. Ноты C, E, G (*до*, *ми*, *соль*) образуют так называемое *мажорное трезвучие*. Соответствующие *относительные числа колебаний* составляют 24, 30, 36. В простейших терминах они имеют соотношение 4:5:6. Любые три других тона с соотношением колебаний 4:5:6 также образуют мажорное трезвучие. Если добавить октаву нижнего тона, то эти четыре ноты образуют мажорный аккорд. Таким образом: F, A, C′ (*фа, ла, до)*, 32:40:48, или 4:5:6, также образуют мажорную триаду, как и G, B, D′ (*соль, си, ре)*, 36:45:54, или 4:5:6. При внимательном рассмотрении можно увидеть, что эти три мажорные триады включают в себя все тоны мажорной гаммы, где D′ является октавой D. Поэтому говорят, что мажорная гамма основана или построена на этих трех мажорных триадах. Приведенные примеры показывают математическую основу гармонии в музыке ( ). Три ноты с соотношением колебаний 10:12:15 называются *минорными триадами.* Они производят менее приятный эффект, чем те, у которых соотношение 4:5:6.

336. Необходимость диезов и бемолей. — Мы рассмотрели тональность C. Она представлена на фортепиано или органе только белыми клавишами (рис. 325). Теперь, чтобы (а) разнообразить инструментальный репертуар и (б) приспособить инструменты к диапазону человеческого голоса, необходимо было ввести в музыкальные инструменты другие ноты. Они представлены *черными клавишами* на фортепиано и органе и известны как *диезы* и *бемоли.* Чтобы проиллюстрировать необходимость этих дополнительных нот, возьмем мажорную гамму, начинающуюся с B. Это даст частоты колебаний 240, 270, 300, 320, 360, 400, 450 и 480. Единственные белые клавиши, которые могут быть использованы в этой гамме, — это вибрации E 320 и B 480. Поскольку вторая нота в этой гамме требует 270 вибраций примерно на полпути между C и D, вставляется черная клавиша C-диез. Другие ноты должны быть вставлены между D и E (D-диез), между F и G (F-диез), а также G и A-диез.

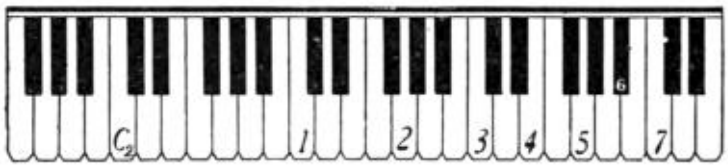


FIG. 325.—Section of a piano keyboard.

Рис. 325. — Разрез клавиатуры фортепиано.

337. Темперированные гаммы. — В музыкальных инструментах с фиксированными нотами, таких как арфа, орган или фортепиано, сложности были признаны на раннем этапе, когда была сделана попытка адаптировать эти инструменты так, чтобы на них можно было играть во всех тональностях. Ведь числа колебаний, которые дают идеальную мажорную гамму, начинающуюся с C, не совпадают с числами, которые дают идеальную мажорную гамму с диезной тональностью ( ), начинающуюся с любой другой тональности. При использовании различных нот в качестве основной ноты для мажорной гаммы потребуется 72 разных ноты в октаве. Это усложнит игру на таких инструментах, как фортепиано. Чтобы максимально избежать этих сложностей, было признано необходимым отказаться от простых соотношений между последовательными нотами и заменить их другим соотношением, чтобы соотношение колебаний между любыми двумя последовательными нотами было одинаковым в каждом случае. Различия между полутонами устраняются, так что, например, до-диез и ре-бемоль становятся одним и тем же тоном, а не двумя разными тонами. Такая гамма называется *темперированной гаммой.* Темперированная гамма имеет 13 нот в октаве с 12 равными интервалами, соотношение между двумя последовательными нотами составляет $\sqrt[12]{2}$ или 1,059. То есть любая частота колебаний в темперированной гамме может быть вычислена путем умножения частоты колебаний предыдущей ноты на 1,059. Хотя это необходимое упрощение, оно приводит к некоторой потере совершенной гармонии. Именно по этой причине квартет или хор голосов, поющих без сопровождения, часто звучат более гармонично и удовлетворительно, чем при сопровождении инструмента с фиксированными нотами, такого как фортепиано, поскольку при сольном пении голосов можно использовать простые гармоничные соотношения. Несовершенство, внесенное *равномерной темперацией*, иллюстрируется следующей таблицей:

	C	D	E	F	G	A	B	C
Идеальная гамма до мажор	256,0	288,0	320,0	341,3	384,0	426,6	480,0	512,0
Темперированная шкала	256,0	287,3	322,5	341,7	383,6	430,5	483,3	512,0

338. Резонанс. — Если два камертона одинаковой высоты звука поместить рядом друг с другом и один из них привести в колебание, то вскоре другой также начнет колебаться. Этот результат называется из-за *сочувственного колебания* и является примером *резонанса* (рис. 326). Если налить воду в стеклянную трубку и подержать над ее верхом вибрирующий камертон, то при определенной длине воздушного столба она начнет вибрировать, сильно усиливая звук камертона. (См. рис. 327.) Это также пример резонанса. Эти и другие подобные факты указывают на то, что *звуковые волны, возникающие от вибрирующего тела, заставляют другое тело, находящееся рядом, вибрировать, если у них одинаковая частота колебаний.* Большинство людей вспомнят примеры этого эффекта из собственного опыта.

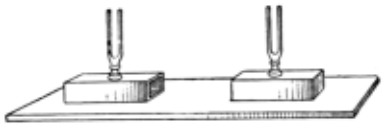


Fig. 326.—One tuning fork will vibrate in sympathy with the other, if they have exactly equal rates of vibration.

Fig. 327.—An air column of the proper length reinforces the sound of the tuning fork.

Рис. 326. — Один камертон будет вибрировать в унисон с другим, если они имеют одинаковую частоту колебаний.
Рис. 327. — Воздушный столб нужной длины усиливает звук камертона.

339. Сочувственное колебание объясняется следующим образом: звуковые волны вызывают очень слабые движения в объектах, на которые они воздействуют; если колебания данного тела точно совпадают по времени с колебаниями данного звука, каждый импульс звуковой волны будет ударять по телу, усиливая колебательное движение последнего. При продолжении этого действия тело вскоре приобретает движение, достаточное для образования слышимых волн. Хорошей иллюстрацией симпатической вибрации является звонарь, который синхронизирует свои движения по веревке колокола с частотой колебаний колокола. В случае резонансной воздушной колонны, над которой удерживается вибрирующий камертон (см. рис. 328), когда зубец камертона начинает опускаться от 1 до 2, волна сжатия движется вниз к поверхности воды и обратно как раз вовремя, чтобы соединиться с волной сжатия *над* камертоном, когда зубец начинает двигаться от 2 до 1; также когда зубец начинает движение вверх от 2 до 1, разрежение, создаваемое под ним, движется к нижней части воздушной колонны и обратно, чтобы соединиться с разрежением *над* камертоном, когда зубец возвращается. Пока зубец делает *одно* движение, вверх или вниз, очевидно, что воздушная волна проходит расстояние, в два раза превышающее длину открытой трубки. Таким образом, во время *полного* колебания вилки звуковая волна проходит расстояние, в четыре раза превышающее длину воздушного столба. В свободном воздухе звук проходит одну длину волны во время полного колебания, следовательно, резонирующий воздушный столб составляет одну четвертую длины звуковой волны, на которую он реагирует. Эксперименты с трубками разной длины показывают, что диаметр воздушного столба оказывает некоторое влияние на длину, дающую наилучший резонанс. К длине воздушного столба необходимо добавить около 25 процентов диаметра трубки, чтобы он составлял ровно одну четвертую длины волны. Звук, слышимый в ракушках и других полых телах, обусловлен резонансом. Колебания в воздухе, слишком слабые, чтобы воздействовать на ухо, усиливаются за счет сочувственных колебаний до тех пор, пока их не станет слышно. Камертон часто устанавливают на коробку, называемую *резонатором,* которая содержит воздушный столб таких размеров, что он усиливает звук симпатической вибрации камертона.

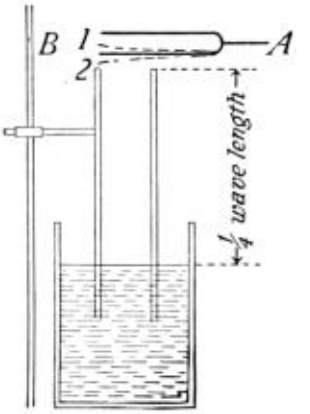


FIG. 328.—Explanation of resonance.

Рис. 328. — Объяснение резонанса.

Важные темы

1. Музыкальные интервалы: октава, секста, квинта, кварта, терция.

2. Мажорный аккорд, 4:5:6.

3. Использование диезов и бемолей. Темперированная гамма.

4. Резонанс, сочувственное колебание, объяснение, примеры.

Упражнения

1. Что такое мажорная гамма? Почему мажорная гамма считается построенной на трех трезвучиях?

2. Почему диезы и бемоли необходимы в музыке?

3. Что такое равномерно темперированная гамма и зачем она используется? Какие инструменты не нуждаются в ее использовании? Почему?

4. Приведите два примера резонанса или сочувственной вибрации из вашего собственного опыта вне школы.

5. Какой длины волны резонирует воздушный столб длиной 2 фута, закрытый с одного конца? Какое количество колебаний в секунду будет иметь этот звук при температуре 25 °C?

6. При температуре 24 °C какая длина воздушной колонны, закрытой с одного конца, будет резонировать со звуком, имеющим 27 колебаний в секунду?

7. Данная нота имеет 300 колебаний в секунду. Каково будет количество колебаний ее (а) октавы, (б) квинты, (в) сексты, (г) большой терции?

8. Что в скрипке или гитаре заменяет резонансную деку фортепиано?

9. Можете ли вы объяснить, почему высота звука колокола на локомотиве повышается, когда вы быстро приближаетесь к нему, и понижается, когда вы удаляетесь от него?

10. Ноты высокой или низкой высоты звучат быстрее? Объясните.

11. Камертон «А» по «международной» шкале производит 435 колебаний в секунду. Какова длина произведенных звуковых волн?

(5) Интерференция волн, биения, колебания струн

340. Взаимодействие волн. — Возможность объединения двух волновых поездов с целью уменьшения движения или *полного* его *уничтожения* можно показать графически. Предположим, что две волны одинаковой длины и амплитуды, как показано на рис. 329, встречаются в *противоположных фазах.* То есть части, соответствующие *гребням* А, совпадают с *впадинами* В, а впадины А — с гребнями В; при таком условии получается результат, показанный в точке С, когда объединение двух волн приводит к полному уничтожению движения. *Более или менее полное уничтожение одной волны другой подобной волной является иллюстрацией* **интерференции** *(* **).** Если две группы водных волн объединяются таким образом, что полностью уничтожают друг друга, результатом является ровная поверхность воды. Если две волны звуковых волн объединяются, они могут интерферировать так, что в результате возникает тишина. Условия для обеспечения интерференции звуковых волн могут быть легко обеспечены с помощью камертона и резонирующего воздушного столба. Если камертон привести в колебание и поместить над открытым концом резонирующего воздушного столба (см. рис. 328), можно услышать усиление звука за счет резонанса. Если камертон вращать вокруг своей оси, в некоторых положениях звук не слышен, а в других — сильно усиливается. Подобный эффект можно наблюдать, поднеся вибрирующую камертонную вилку к уху и медленно вращая ее, как и в предыдущем случае. В некоторых положениях возникает интерференция, а в других звук слышен отчетливо. Объяснение интерференции можно прояснить с помощью диаграммы (см. рис. 330). Представим, что мы смотрим на два квадратных конца камертонной вилки. Когда камертон вибрирует, два зубца сближаются, а затем отдаляются друг от друга. При сближении происходит уплотнение в точке 2 и разрежение в точках 1 и 3. При отдалении происходит разрежение в точке 2 и уплотнение в точках 1 и 3. Теперь вдоль линий, на которых встречаются одновременно возникающие разрежения и уплотнения, происходит более или менее полная интерференция. (См. рис. 331.) Эти положения обозначены пунктирными линиями, проходящими через концы зубцов. Как указано выше, эти положения можно легко найти, вращая вибрирующую вилку над резонирующей воздушной колонной или рядом с ухом.

Fig. 329.—Interference of sound waves.

Рис. 329. — Интерференция звуковых волн.

Fig. 330.—At 2 is a condensation; at 1 and 3 are rarefactions.

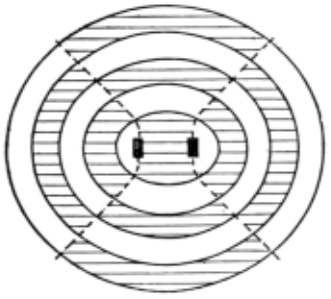


Fig. 331.—The condensations and rarefactions meet along the dotted lines producing silence.

Рис. 330. — В точке 2 происходит сжатие, в точках 1 и 3 — разрежение.
Рис. 331. — Уплотнения и разрежения встречаются вдоль пунктирных линий, создавая тишину.

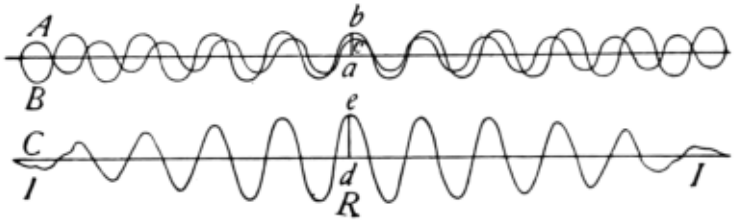


FIG. 332.—Diagram illustrating the formations of beats.

Рис. 332. — Диаграмма, иллюстрирующая образование биений.

341. Биения. — Если два камертона с немного отличающейся высотой тона заставить вибрировать и поместить над резонирующими воздушными столбами или с ножками каждого камертона на резонирующей доске, чтобы звуки усилились, можно заметить своеобразное пульсирование звука. Это явление известно как *биения*. Его возникновение легко понять, рассмотрев диаграмму (рис. 332). Пусть кривая A представляет звуковую волну, исходящую от одного камертона, а B — от другого. C представляет эффект, производимый комбинацией этих волн. В точке R две звуковые волны встречаются в *одной фазе* и усиливают друг друга. Это приводит к более громкому звуку, чем каждый из них производит в отдельности. Теперь, поскольку звуки имеют слегка разную высоту, один камертон испускает несколько больше колебаний в секунду, чем другой. Поэтому волны от первой камертона немного короче, чем от другой. Следовательно, хотя две волны в один момент находятся в *одной* фазе, вскоре они должны оказаться в противоположных фазах, как в точке I. Здесь происходит интерференция, и в результате возникает тишина. Сразу же волны усиливаются, производя более громкий звук, и так далее попеременно. Результирующее повышение и понижение звука называется *биением.* Количество биений в секунду, конечно, должно быть равным разнице между количеством колебаний в секунду двух звуков. Одним из эффектов биения является *диссонанс.* Это особенно заметно, когда количество биений в секунду составляет от 30 до 120. Ударьте одновременно по двум самым низким нотам на фортепиано. Биение будет очень заметным.

Fig. 333.—Turkish cymbals.

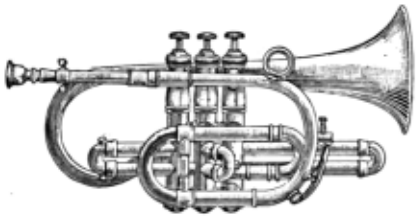


Fig. 334.—The cornet.

Рис. 333. Турецкие цимбалы.
Рис. 334. Корнет.

342. Три класса музыкальных инструментов. — Существует три класса или группы музыкальных инструментов, если рассматривать вибрирующее тело, которое производит звук в каждом из них: (A) те, в которых звук производится вибрирующей *пластиной* или *мембраной*, как барабан, цимбалы (рис. 333) и т. д.; (B) те, в которых звук производится вибрирующими *воздушными столбами,* такие как флейта, орган и корнет (рис. 334), и (C) те, в которых *звук производится* вибрирующими *струнами,* такие как фортепиано, скрипка и гитара. Стоит внимательно рассмотреть некоторые из них. Начнем с рассмотрения вибрирующих струн, которые часто производят богатые по качеству тона.

Рассмотрим струны фортепиано. (Если возможно, посмотрите на струны какого-нибудь инструмента.) Диапазон фортепиано составляет 7-1/3 октав. Его самая низкая нота, A_4, имеет около 27 колебаний в секунду. Самая высокая, C^4, около 4176. Такой большой диапазон частоты колебаний обеспечивается за счет изменения длины, натяжения и диаметра струн.

343. Законы колебания струн. — Взаимосвязь между частотой колебаний, длиной, натяжением и диаметром колеблющихся струн была тщательно изучена с помощью прибора, называемого *сонометром* (рис. 335). С помощью этого устройства было обнаружено, что высота звука вибрирующей струны повышается на одну октаву, когда ее вибрирующая длина уменьшается вдвое. Путем определения частоты колебаний струн различной длины был выведен следующий закон: (Закон I) *Частота колебаний струны обратно пропорциональна ее длине.*

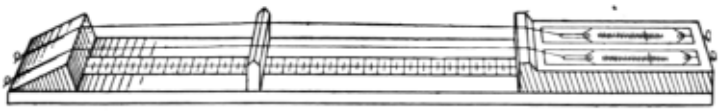


Fig. 335.—A sonometer.

Рис. 335. Сонометр.

Тщательные испытания изменения частоты колебаний, вызванного изменением *натяжения* или тяги на струнах, показывают, что если тяга увеличивается в четыре раза, частота колебаний *удваивается*, а если она увеличивается в девять раз, частота утраивается, то есть: (Закон II) *Частота колебаний струн прямо пропорциональна квадратному корню из их натяжения.*

Испытания влияния диаметра проводятся с помощью проволок одинаковой длины и натяжения, изготовленных из одного и того же материала, но имеющих разный диаметр. Предположим, что одна из них в два раза толще другой. Эта струна имеет тон на октаву ниже или вибрирует в два раза медленнее первой. Следовательно: (Закон III) *Частота*

колебаний струн обратно пропорциональна их диаметру. Эти законы можно выразить формулой $n \propto \sqrt{(t)}/dl$.

Колебания струны редко бывают простыми. Обычно она колеблется по частям одновременно с колебанием в целом. Звук, производимый струной, колеблющейся в целом, называется ее *основным тоном*. Колеблющиеся части струны называются *петлями* или *сегментами* (см. рис. 336), а точки с наименьшим колебанием или без колебания — *узлами*. Сегменты часто называют *антиузлами*.

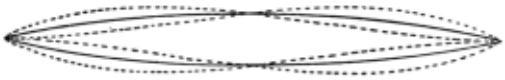


FIG. 336.—A string yielding its fundamental and its first overtone.

Рис. 336. — Струна, производящая основной тон и первый обертон.

344. Обертоны. На *качество* тона, производимого вибрирующей струной, влияет ее вибрация по частям, когда она также вибрирует целиком. (См. рис. 336.) Тоны, производимые вибрацией по частям, называются *обертонами* или *частичными* тонами. Наличие этих обертонов часто можно обнаружить по сочувственной вибрации других проводов, находящихся поблизости. То, что называется *первым* обертоном, производится струной, вибрирующей в *двух* частях, *второй* обертон — струной, вибрирующей в *трех частях, третий* обертон — ее вибрацией в *четырех* частях и так далее. В любом обертоне количество частей или вибрирующих сегментов струны на один больше, чем номер обертона. Например, слегка нажмите на клавишу среднего до на фортепиано. Это позволит струне свободно вибрировать. Теперь сильно ударите по ноте до на октаву ниже, а затем снимите палец с этой клавиши. Вы услышите, как струна среднего до ( ) издает свой тон. Подобным образом попробуйте E(1) и G(1) с C. Этот эксперимент показывает, что звук струны C содержит эти тоны в качестве обертонов. Он также иллюстрирует симпатическое колебание.

Важные темы

1. Интерференция, биения, производство, эффекты.

2. Вибрация струн, три закона.

3. Три класса музыкальных инструментов.

4. Основной тон и обертоны, узлы, сегменты, как они производятся? Результаты.

Упражнения

1. Какие различные средства используются для изменения высоты звука струн фортепиано? А для струн скрипки?

2. Сколько ударов в секунду будет производить два камертона, имеющие соответственно 512 и 509 колебаний в секунду?

3. Проволока длиной 180 см производит звук среднего до. Покажите на схеме с помощью цифр, где должен быть расположен мостик, чтобы струна издавала каждый тон мажорной гаммы.

4. Как скрипач может сыграть мелодию на одной струне?

5. Каковы частоты первых 5 обертонов струны, основной тон которой дает 256 колебаний в секунду?

6. Один человек делает 112 шагов в минуту, а другой — 116. Сколько раз в минуту эти два человека будут идти в ногу? Сколько раз в минуту один из них будет выдвигать левую ногу в тот момент, когда другой выдвигает правую?

7. Почему необходимо иметь стандартную высоту звука?

8. Как можно понизить высоту звуков, издаваемых фонографом?

9. Сколько ударов в секунду будет происходить, когда два камертона с частотами 512 и 515 соответственно звучат вместе?

10. Какие струны фортепиано дают самый высокий тон? Почему?

(6) Качество звука, колеблющиеся воздушные столбы, пластины

345. Качество. Причина *различий в качестве тона* между нотами одинаковой высоты и интенсивности, *например*, производимыми скрипкой и фортепиано ( ), долгое время была предметом догадок. Немецкий физик Гельмгольц (см. стр. 397) первым окончательно доказал, что качество тона зависит от *различных обертонов*, присутствующих вместе с основным тоном, и *их относительной интенсивности*. Если камертон сначала привести в колебание, проведя по нему смычком, а затем ударив по нему твердым предметом, можно заметить разницу в *качестве* произведенных тонов. Таким образом, очевидно, что способ приведения тела в колебание влияет на произведенные обертоны и, следовательно, на качество. Струны фортепиано ударяются войлочными молоточками в точке, расположенной примерно на одной седьмой длины струны от одного конца. Эта точка была выбрана экспериментально, так как было обнаружено, что она дает наилучшее сочетание обертонов, что подтверждается качеством получаемого тона.

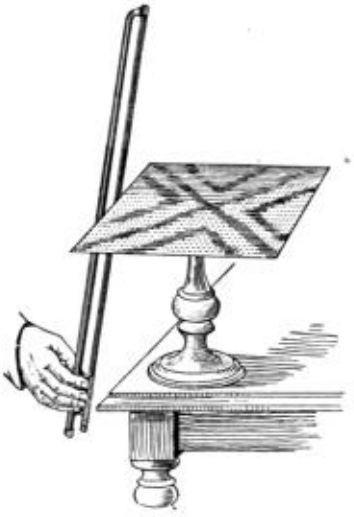


Fig. 337.—Chladni's plate.

Рис. 337. — Пластина Хладни.

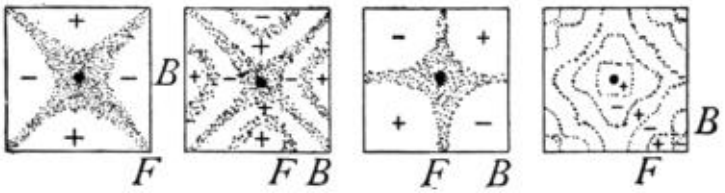


FIG. 338—Chladni's figures.

Рис. 338. Фигуры Хладни.

346. Пластина Хладни. — Тот факт, что вибрирующие тела способны к множеству видов колебаний, хорошо иллюстрируется так называемой пластиной Хладни. Она состоит из круглого или квадратного листа латуни, прикрепленного к подставке в центре так, чтобы держаться горизонтально. (См. рис. 337.) На ее поверхность насыпается мелкий песок, и диск приводится в колебание путем проводимого по его краю смычка скрипки. Режим колебания диска отображается песком, скапливающимся вдоль линий наименьшего колебания, называемых *узловыми линиями.* Различные узловые линии , каждая из которых сопровождается характерным тоном, можно получить, изменяя положение смычка и касаясь пальцами разных точек по краю диска. Они известны как фигуры Хладни. (См. рис. 338.)

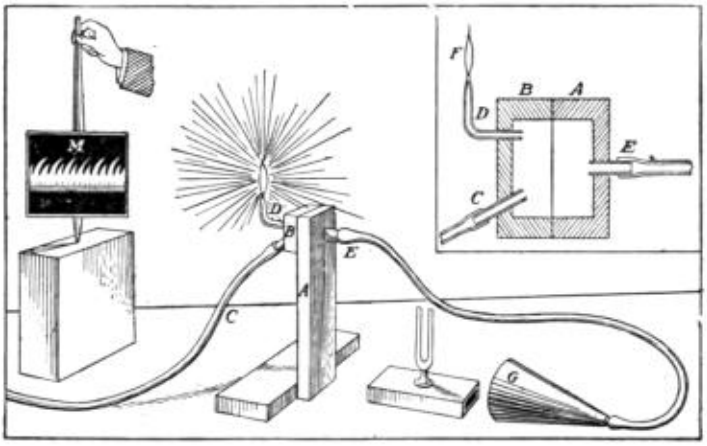


FIG. 339.—Manometric flame apparatus.

Рис. 339. Манометрический пламенный прибор.

347. Манометрические пламена. — Фактическое наличие обертонов наряду с основным тоном можно *увидеть* с помощью *манометрического пламенного аппарата*. Он состоит из деревянного ящика *C*, установленного на подставке. (См. рис. 339.) *Я*щик разделен по вертикали гибкой перегородкой или диафрагмой. На одной стороне перегородки имеются два выхода: один, C, ведет к газовой трубе, другой — к стеклянной трубке D. На другой стороне перегородки трубка E ведет к мундштуку. Зеркало M установлено так, что оно может вращаться вокруг вертикальной оси перед F и рядом с ним. Теперь включают газ и зажигают его в F. Звук голоса, произведенный в мундштуке, посылает звуковые волны через трубку и на диафрагму, которая вибрирует взад и вперед, когда на нее попадают звуковые волны. Это действие влияет на пламя, которое поднимается и опускается. Если теперь повернуть зеркало, изображение пламени, видимое в зеркале, поднимается и опускается, показывая не только основные или главные колебания, но и обертоны. Если в мундштуке последовательно произносить разные гласные звуки, то каждый из них сопровождается характерной формой волны (рис. 340). В некоторых случаях основной тон сильно выделяется, а в других обертоны производят заметные изменения. Были изобретены

другие устройства, которые позволяют точно анализировать звуки на составляющие их колебания, а еще другие объединяют простые тоны для получения любого желаемого сложного тона.

348. Фонограф. *Графофон* или *фонограф* представляет собой механизм для нанесения на диск или цилиндр канавки, которая воспроизводит в изменяющейся форме или глубине трассировки все особенности воздействующих на нее звуковых волн. Воспроизводитель состоит из чувствительной диафрагмы, к которой прикреплена игла. Диск или цилиндр вращается под воспроизводящей иглой. Неровности дна следа вызывают соответствующие движения иглы и прикрепленной к ней диафрагмы, которые запускают волны, воспроизводящие звуки, которые ранее воздействовали на записывающее устройство. Конструкция фонографа достигла такого совершенства, что обеспечивается очень точное воспроизведение большого разнообразия звуков.

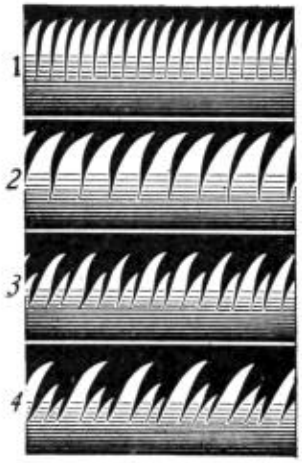


FIG. 340.—Characteristic forms of manometric flames.

Рис. 340. Характерные формы манометрических пламен.

349. Духовые инструменты. — Во многих музыкальных инструментах, таких как *корнет*, *орган*, *флейта* и т. д., а также в *свистках* ( ), вибрирующим телом, служащим источником звука, является *столб воздуха*, обычно заключенный в трубку. В отличие от вибрирующих струн, этот вибрирующий источник звука мало изменяется по натяжению или плотности, поэтому изменение высоты звука воздушных столбов обеспечивается изменением их длины. Закон, аналогичный закону для струн, *гласит*, *что частота колебаний воздушных столбов обратно пропорциональна их длине.*

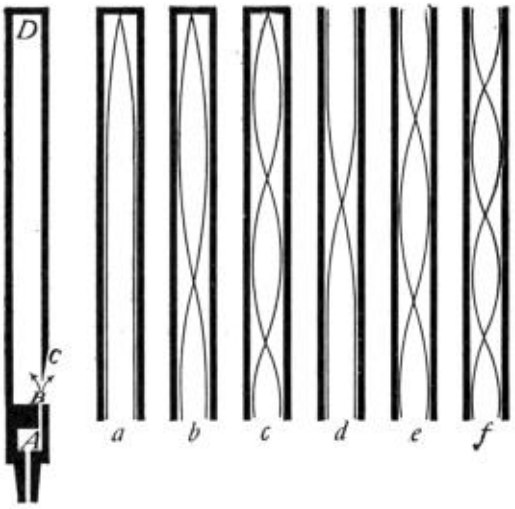


FIG. 341.—(*R*) Cross-section of an organ pipe showing action of tongue at *C*. (*a*) The fundamental tone in a closed pipe has a wave length four times the length of the pipe; (*b*) and (*c*) how the first and second overtones are formed in a closed pipe; (*d*) the fundamental tone of an open pipe has a wave length equal to twice the length of the pipe; (*e*) and (*f*) first and second overtones of open pipe.

Рис. 341.—(*R*) Поперечное сечение трубы органа, показывающее действие язычка в точке *C*. (a*)* Основной тон в закрытой трубе имеет длину волны, в четыре раза превышающую длину трубы; (b*)* и (c*)* как формируются первый и второй обертоны в закрытой трубе; (d*)* основной тон открытой трубы имеет длину волны, равную двойной длине трубы; (e*)* и (f*)* первый и второй обертоны открытой трубы.

Если в *открытую* трубу органа дуть мягко, слышен тон определенной высоты. Теперь, если один конец закрыт, при повторном звучании высота тона оказывается на октаву ниже. Следовательно, *высота тона закрытой трубы на октаву ниже, чем у открытой трубы той же длины*.

350. Узлы в трубах органа. — Рис. 341, *R* представляет собой поперечное сечение деревянной трубы органа. Воздух вдувается через А и ударяется о тонкий язычок из дерева С. Этот язычок ( ) заставляет струю воздуха вибрировать, тем самым приводя в колебание столб воздуха, так что звук продолжается до тех пор, пока воздух вдувается через А. Чтобы понять режим колебаний столба воздуха, полезно изучить кривую, представляющую движение волны (рис. 342). Пусть *AB* представляет такую кривую, в которой 2, 4 и 6 представляют узлы или точки наименьшей вибрации, а 1, 3 и 5 — антиузлы или места наибольшего движения. Полная длина волны простирается от 1 до 5 или от 2 до 6. Теперь в открытой трубе органа (рис. 341d*)* конец воздушной колонны d является местом сильной вибрации или антиузлом. На другом конце также находится другое место сильной вибрации или антиузел; между этими двумя антиузлами должно быть место наименьшей вибрации или узел. Таким образом, открытый воздушный столб простирается от антиноды до антиноды (или от 1 до 3) и составляет *половину* длины волны. *Закрытый воздушный столб* (рис. 341a*)* простирается от места *сильной* вибрации в точке а до места *отсутствия* вибрации на закрытом конце. Расстояние от антиноды до узла составляет расстояние от 1 до 2 на кривой и равно *четверти* длины волны.

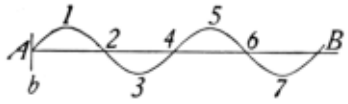


FIG. 342.—Graphic representation of sound waves.

Рис. 342. Графическое представление звуковых волн.

Fig. 343.—A clarinet.

Рис. 343. Кларнет.

Когда в трубу дуют сильно, она издает обертоны. *Горн* — это музыкальный инструмент, в котором ноты разной высоты производятся различиями в дутье. (См. рис. 341.) (*d*), (*e*), (*f*). При игре на *корнете* разные высоты звука производятся различиями в дутье и клапанами, которые изменяют длину колеблющегося воздушного столба. (См. рис. 334.) *Кларнет* имеет мундштук, содержащий язычок ( ), похожий на тот, который получается при вырезании язычка на соломинке или перье. Длина колеблющегося воздушного столба в кларнете изменяется путем открытия отверстий по бокам трубки. (См. рис. 343.)

351. Как мы слышим. Наш слуховой аппарат состоит из трех частей. (См. рис. 344.) *Наружное ухо* ведет к *барабанной перепонке*. *Среднее ухо* содержит три косточки, которые передают колебания барабанной перепонки во *внутреннее ухо*. Последнее заполнено жидкостью, которая передает колебания в часть, имеющую спиралевидную структуру, называемую *улиткой*. Внутри улитки растянуты около 3000 волокон или струн. Считается, что каждое из них чувствительно к определенной частоте колебаний и что каждое из них также прикреплено к нервному волокну. Звуковые волны воздуха, передаваемые барабанной перепонкой, косточками уха и жидкостью внутреннего уха, вызывают сочувственные колебания в струнах улитки, которые воздействуют на слуховой нерв, и мы слышим. Самые высокие тона, воспринимаемые человеческим ухом, производятся от 24 000 до 40 000 колебаний в секунду. Средний человек не слышит звуки, производимые более чем 28 000 колебаниями. Обычный диапазон слуха составляет около 11 октав. Тоны, производимые колебаниями выше 4100 в секунду, являются пронзительными и неприятными. В музыке диапазон составляет 7-1/3 октав, самый низкий тон производится 27,5 колебаниями, самый высокий — примерно 4100 колебаниями в секунду.

Fig. 344.—The human ear.

Рис. 344. Человеческое ухо.

Звуки, издаваемые мужчинами, ниже, чем у женщин и мальчиков. У мужчин голосовые связки имеют длину около 18 мм, у женщин — 12 мм.

Диапазон человеческого голоса составляет около двух октав ( ), хотя некоторые известные певцы имеют диапазон в две с половиной октавы. В обычной речи длина волны звуков, производимых мужским голосом, составляет от 8 до 12 футов, а женским — от 2 до 4 футов.

Важные темы

1. Качество тона. Основной тон и обертоны. Плита Хладни.

2. Манометрический пламенный прибор.

3. Фонограф и проигрыватель.

4. Воздушные столбы и духовые инструменты.

5. Как мы слышим.

Упражнения

1. Что определяет высоту звука игрушечного свистка?

2. Самая низкая нота органа имеет длину волны около 64 футов. Какова длина закрытой трубы, дающей эту ноту? А открытой трубы?

3. Каков первый обертон ноты до? Каковы второй и третий обертоны? Укажите числа колебаний и названия или буквы высоты звука.

4. Почему музыка оркестра звучит так же гармонично на расстоянии 400 футов, как и на расстоянии 100 футов?

5. Какой частоте колебаний при температуре 10 °C будет соответствовать резонирующая воздушная колонна длиной 60 см, закрытая с одного конца?

6. Можете ли вы выяснить, как клапаны на корнете работают, чтобы изменить высоту тона?

7. Как работает тромбон, чтобы производить звуки разной высоты?

8. Самая низкая нота на органе имеет длину волны около 64 футов. Какова должна быть длина закрытой трубы, производящей эту ноту?

9. Какова приблизительная длина открытой трубы органа, излучающей волны длиной 4 фута?

Обзорная схема: Звук

Звук — определение, источник, среда, скорость, природа.

Волны — продольные, поперечные, иллюстрации.

Характеристики музыкальных звуков:	интенсивность — площадь, амплитуда, плотность, расстояние. высота — гаммы; мажорные, темперированные, триады, $N = V/L$ качество — основной тон и обертоны.

Симпатические колебания — резонанс, интерференция, биения, диссонанс.

Музыкальные инструменты — струнные, воздушные, мембранные или пластинчатые.

Законы: (а) вибрирующих струн (3), (б) вибрирующих воздушных столбов (2).

ГЛАВА XVI

СВЕТ

(1) Свет, его прямолинейное распространение, тени

352. Сравнение звука и света. С точки зрения физики свет рассматривается во многом так же, как и *звук*, — как *форма движения*; один воздействует на ухо, другой вызывает явление, называемое *зрением*. Есть и другие различия, которые стоит учитывать. (а) В то время как звук распространяется в виде колебаний какой-либо *материальной* среды, свет распространяется только в виде колебаний *эфира*; твердые тела, жидкости и газы скорее препятствуют его движению, чем способствуют ему. То есть свет лучше всего распространяется в вакууме или в пространстве, лишенном обычной материи. (б) *Скорость* света настолько велика, что на обычных расстояниях на Земле его движение практически мгновенно. Эксперименты показали, что его скорость составляет от 186 000 миль до 300 000 километров в секунду.

353. Светящиеся и освещенные тела. — Если мы рассмотрим предметы в комнате, то некоторые из них, такие как книги и мебель, будут невидимы, если исключить весь свет из внешних источников. С другой стороны, некоторые другие предметы, такие как зажженная лампа, горящий уголь или раскаленное железо, будут видны, если не будет внешнего света. Такие тела называются светящимися. Большинство светящихся тел горячие и теряют свечение при охлаждении. Однако есть некоторые тела, которые светятся при обычной комнатной температуре, например, светлячки и некоторые фосфоресцирующие краски. Когда свет, излучаемый светящимся телом, попадает на объект, часть его всегда *отражается.* Именно этот отраженный свет делает освещенный объект *видимым.* Если объект представляет собой лист стекла, часть света *проходит через него.* Если вещество настолько прозрачно, что через него можно видеть объекты, то оно является *прозрачным,* но если через него нельзя видеть объекты, то оно считается *полупрозрачным.* Объекты, не пропускающие свет, являются *непрозрачными.* Часть света, падающего на тело, не отражается и не проходит, а *поглощается* и нагревает тело. Таким образом, свет, падающий на тело, либо *отражается,* либо *проходит*, либо *поглощается.* На рис. 345 показан свет, падающий от S на кусок стекла *GL.* Часть света, обозначенная буквой R, отражается. Другая часть A поглощается и исчезает, а еще одна часть T проходит и продолжает свое движение.

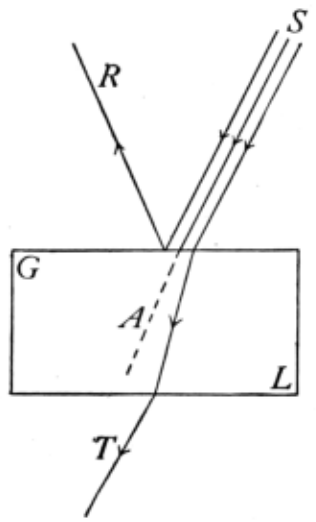


Fig. 345.—The light is transmitted (*T*), reflected (*R*), or absorbed (*A*).

Рис. 345. — Свет проходит (T*)*, отражается (R*)* или поглощается (A*)*.

Между прозрачными и непрозрачными телами нет четкой границы. Очень тонкие листы золота пропускают зеленоватый свет, а эксперименты показали, что такие прозрачные вещества, как чистая вода, поглощают достаточно света, так что на значительной глубине в океане или озере свет практически отсутствует. Весь свет, будь то из светящихся тел или отраженный от несветящихся объектов, обладает определенными свойствами, которые мы сейчас рассмотрим.

354. Прямолинейное распространение света. — Если луч света проходит через отверстие в шторе окна в темную комнату, он движется по идеально прямой траектории. Если человек, кашляя, держит книгу перед лицом, звук обходит книгу и слышен в любой точке комнаты, в то время как лицо скрыто книгой. Другими словами, свет обычно не обходит углы, как звук, а движется по *прямой линии.* Этот факт используется, когда человек целится из оружия или просто смотрит на объект. В нашем сознании настолько прочно укоренилась идея, что *объект* находится в том направлении, из которого мы видим исходящий от него свет, что мы иногда ошибаемся в отношении реального положения объекта, когда путь света от него изменяется зеркалом или какой-либо другой отражающей поверхностью. Многие *иллюзии* возникают именно таким образом, одним из примеров которых является *мираж* в пустыне. (См. ст. 381.)

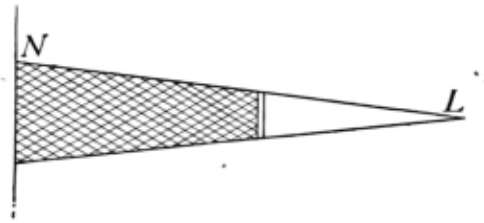


Fig. 346.—Shadow from a small source of light.

Рис. 346.—Тень от небольшого источника света.

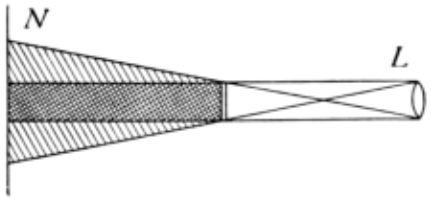


FIG. 347.—Shadow when source of light is large. **Рис. 347.—Тень при большом источнике света.**

355. Тени.—*Тень - это пространство, от которого свет отрезан непрозрачным телом.* Таким образом, если книгу (см. рис. 346) держать между экраном, *N*, и *небольшим* источником света, *L*, создается тень, которая простирается от книги до экрана. Обратите внимание, что тень - это *пространство* а не *область*. Если в качестве источника света используется *большое* газовое пламя (см. рис. 347), тень от книги больше не будет четко обрезана по краям, как раньше, а будет иметь более темную центральную часть с более светлой бахромой полутени по краям. Темная часть внутри тени полностью пропускает свет и называется *тенью*. Более светлая часть тени по краям перекрывает только часть света от пламени. Эта часть называется *полутень*. когда человек стоит на солнечном свете, его тень простирается от его тела до земли или предмета, на который падает тень. Ночью мы находимся в тени земли, которая простирается в космос за пределы земли.

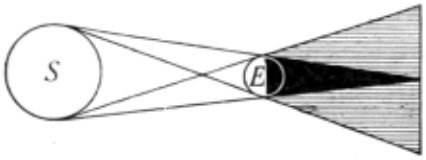


FIG. 348—Character of the earth's shadow. **Рис. 348.—Характер тени земли.**

356. Затмения.—Поскольку солнце - очень крупный объект, тень, отбрасываемая землей, содержит как тень, так и полутень. (См. рис. 348.) Говорят, что когда луна переходит в тень земли, происходит лунное затмение, в то время как если тень Луны падает на землю, то на части земли, отрезанной от солнечного света, происходит солнечное затмение.

357. Изображения с малой апертурой.—Прямолинейное движение света делает возможным использование *камеры с точечным* отверстием, с помощью которой были сделаны удовлетворительные фотографии. Действие этого устройства можно проиллюстрировать, поместив светящийся предмет, зажженную свечу, лампу накаливания или газовое пламя перед листом картона, *S*, в котором есть небольшое отверстие. Свет от объекта (см. рис. 349) падает на экран, S_2, так что получается *перевернутое изображение*. Другие применения этого принципа будут приведены позже.

На рис. 349 пусть *PQ* представляет газовое пламя, тогда свет от точки *P* в *верхней* части пламени пройдет по прямой линии через отверстие в картоне и упадет на P_2 в *нижней* части освещенного пятна на экране. Свет от *Q*, проходящий по прямым линиям через отверстие, будет падать на Q_2 в верхней части освещенного пространства. Это световое пятно будет иметь те же очертания, что и светящееся тело *PQ*, и, будучи сформированным, как только что описано, будет *перевернутым*.

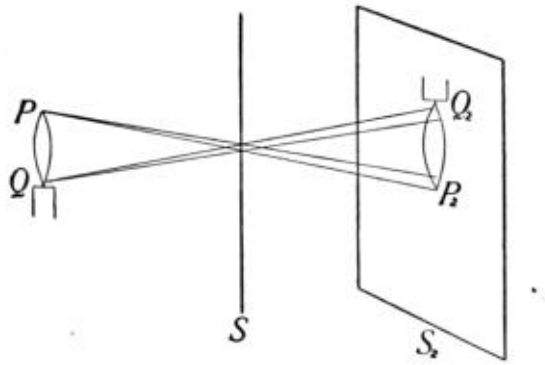


FIG. 349.—Image formed by a small aperture is inverted.

Рис. 349.—Изображение, сформированное маленькой диафрагмой, перевернуто.

Это световое пятно, напоминающее по своим очертаниям пламя, называется *изображением*. *Изображение определяется как оптический аналог объекта*. Изображения формируются в различных устройствах, таких как *диафрагмы*, *зеркала* и *линзы*. *Камера с точечным отверстием* представляет собой просто светонепроницаемую коробку с небольшим отверстием с одной стороны. Свет, проходящий через это отверстие, формирует изображение на противоположной стороне внутренней части коробки любого объекта, находящегося перед камерой. Свет, проникающий в комнату через *большое* отверстие, такое как окно, создает множество накладывающихся друг на друга изображений, которые сливаются, образуя несколько равномерно освещенную поверхность.

Важные темы

1. Свет в контрасте со звуком (три отличия).

2. Тела: прозрачные, полупрозрачные, непрозрачные.

3. Свет: отраженный, проходящий, поглощенный.

4. Свет распространяется по прямым линиям, уликам, теням, тени-тени.

5. Формирование изображений с помощью малых отверстий.

Упражнения

1. Представьте, что длина окружности земли равна 25 000 милям. Во сколько раз скорость света преодолела бы это расстояние за секунду?

2. Как скоро после того, как на солнце, удаленном на 93 000 000 миль, произойдет какое-либо сильное возмущение, его можно будет увидеть с земли?

3. Постройте диаграмму тени луны. Какую часть солнца можно увидеть, находясь в тени луны? Когда она находится в полутени? Вы когда-нибудь были в любом из них? Когда? Вы когда-нибудь были в тени земли? В ее полутени?

4. Объясните, используя диаграмму, формирование перевернутого изображения с помощью малой диафрагмы.

5. Если солнце находится на 45 градусов выше горизонта, какова высота столба, отбрасывающего тень длиной 60 футов?

6. Если тень длиной 6 футов отбрасывает вертикально стоящий на дорожке 10-футовый столб, то какой высоты дерево, тень от которого имеет длину 42 фута, если оба измерения производятся одновременно?

7. Почему тени, создаваемые дуговой электрической лампой, так резко очерчены?

8. Почему все окна классной комнаты должны быть с одной стороны и доходить до потолка?

9. Какова связь между размером изображения и его расстоянием от формирующей его диафрагмы? Можете ли вы доказать это с помощью геометрии?

10. Что такое силуэты и как они создаются?

(2) ФОТОМЕТРИЯ И ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ

358. Фотометрия.—Желательно время от времени сравнивать интенсивность освещения, создаваемого светом из разных источников. Это делается для определения *относительной стоимости или эффективности* различных источников освещения, таких как свечи, керосиновые и газовые лампы, а также электрические светильники. Процесс определения относительной интенсивности света или ламп называется фотометрией. (*Фотографии* = свет.)

Единица измерения силы света называется *мощностью свечи*. Это свет, производимый свечой-сперматозоидом, горящей со скоростью 120 зерен в час. Обычная газовая лампа сжигает 5 или более кубических футов газа в час и дает мощность от 15 до 25 свечей. Газовая лампа Welsbach, потребляющая 3 кубических фута в час, вырабатывает от 50 до 100 свечей.

Вместо использования свечей для практической фотометрии в целях тестирования или калибровки используются лампы накаливания, стандартизированные Бюро стандартов.

Необходимо различать интенсивность *светящегося* тела, *т.е.* как источника света, и *интенсивность освещения* на некоторой поверхности, создаваемого светом. Считается, что два источника света имеют *равную интенсивность*, если они производят равное освещение на равных расстояниях.

359. Закон силы света.—Устройство для измерения силы света свечи называется *фотометром*. Его использование основано на *законе интенсивности света*. *Интенсивность освещения поверхности обратно пропорциональна квадрату ее расстояния от источника света.* Это соотношение аналогично тому, которое существует между интенсивностью звука и расстоянием от его источника. Следующее устройство простым образом иллюстрирует истинность этого закона.

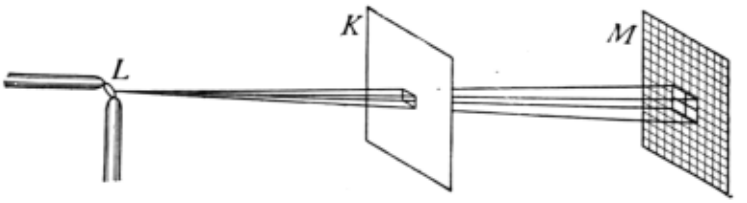


FIG. 350.—The light spreads over four times the area at twice the distance.

Рис. 350.— Свет распространяется на вчетверо большую площадь на удвоенное расстояние.

Вырежьте отверстие диаметром 1 дюйм. разровняйте карту на большом листе картона (*K*) и поместите ее в вертикальном положении на расстоянии 1 метра от дуговой лампы или другого *точечного источника* света (*L*). Теперь выровняйте дюймовые квадраты на другой карточке (*M*) и расположите их параллельно первой карточке на расстоянии 2 метров от нее. (См. рис. 350.) Свет, прошедший через отверстие площадью 1 кв. дюйм на расстоянии 1 метра, распространяется на 4 кв. дюйма на расстоянии 2 метров. Следовательно, интенсивность освещения на каждом квадратном дюйме *M* составляет одну четвертую от интенсивности освещения на поверхности *K*. Если *M* находится на расстоянии 3 метров от источника света, освещается 9 квадратных дюймов, или интенсивность составляет одну девятую от интенсивности на расстоянии 1 метра.

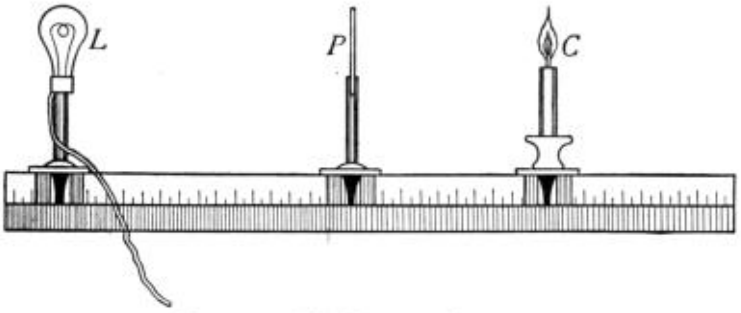


FIG. 351.—The Bunsen photometer.

Рис. 351.—Фотометр Бунзена.

Эти соотношения показывают, что интенсивность освещения обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света. Закон интенсивности применяется при использовании простого фотометра (Бунзена). Он состоит из карточки, содержащей пятно, пропитанное маслом или расплавленным воском. (См. рис. 351.) Источники света, интенсивность которых необходимо сравнить, расположены на противоположных сторонах карты. Затем карта настраивается таким образом, чтобы пятно выглядело одинаково с обеих сторон. Освещение теперь одинаково с обеих сторон карты, и *мощность свечей двух источников света пропорциональна квадратам их расстояний от карты*. Простое устройство, только что описанное, даст только приблизительные результаты. Для получения точных результатов требуется более сложное устройство.

360. Измерение интенсивности освещения.—Стандартная свеча (ст. 358) вырабатывает при зажигании 1 свечу мощности. Освещение, возникающее при этом на поверхности на расстоянии 1 фута и под прямым углом к световым лучам, называется **свечой для ног**. Это единица измерения интенсивности освещения. Лампа мощностью в 4 свечи, расположенная на расстоянии 1 фута, дает мощность в 4 футовых свечи. Лампа мощностью 16 свечей, расположенная на расстоянии 2 футов, также производит 4 футовых свечи - ($16 \div 2^2$).

Интенсивность освещения, необходимая для хорошего зрения, зависит от условий. Таким образом, для освещения сцены и магазина требуется около 4 футовых свечей, в то время как для домов и церквей может потребоваться всего 1 футовая свеча.

Слишком большая интенсивность освещения так же вредна, как и недостаточная. Открытые источники света мощностью более 5 свечей на квадратный дюйм часто являются причиной проблем со зрением. Такие светильники должны быть защищены матовыми шарами.

Приятной формой освещения для больших залов и общественных зданий является *непрямая система*. При этом лампы скрыты отражателями, которые отбрасывают свет на потолок, от которого он рассеивается по комнате. Эта форма освещения более дорогая, чем другие системы, поскольку часть света отражается. Таким образом, его стоимость является важным фактором при рассмотрении вопроса о его использовании.

361. Отражение света.—Свет, отраженный от поверхностей окружающих нас тел, дает нам информацию об окружающем нас мире. Знание о поведении света, подвергающегося отражению, обычно не получается из обычного наблюдения. Закон отражения света, однако, может быть продемонстрирован экспериментом.

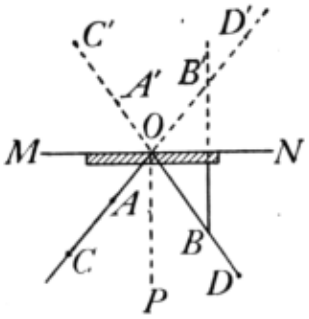


FIG. 352.—B' is as far back of the mirror as B is in front of it.

РИС. 352.—*B* находится на таком же расстоянии от зеркала, на каком *B* находится перед ним.

CHRISTIAN HUYGENS
(Popular Science Monthly)

ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС

(Научно-популярный ежемесячник)

Христиан Гюйгенс (1629-1695). Голландский физик; изобрел часы с маятником (1656); разработал волновую теорию света; открыл поляризацию света (1690).

H. V. Helmholtz
"By Permission of the Berlin Photographic Co., New York."

Г. В. Гельмгольц

"С разрешения Берлинской фотографической компании, Нью-Йорк".
Hermann von Helmholtz (1821-1894) Germany. Основал учение о сохранении энергии; сделал много открытий в области звука; изобрел офтальмоскоп; установил физическую основу качества звука.

Плоское зеркало, *M*, удерживается в вертикальном положении, опираясь на лист бумаги. (См. рис. 352.) Булавки воткнуты вертикально в бумагу в точках *A* и *B*. При наведении глаза вдоль линии *AC* и взгляде в зеркало в зеркале можно увидеть изображение *B* благодаря отраженному от его поверхности свету. Булавки *C* и *D* теперь нанесены на бумагу таким образом, что при взгляде вдоль линии *BD* в сторону зеркала можно увидеть, что все четыре булавки расположены на одной линии. Это указывает на то, что свет от *A* и *C* проходящий вдоль *CA* в направлении *O*, отражается обратно вдоль источника света *CBD*. С помощью линейки проведите линии через *BD* и *AC*, пока они не пересекутся в точке *O*. Также нарисуйте *ПО* перпендикулярно зеркалу в точке *O*.

Тогда углы *AOP* и *BOP* будут признаны равными. Они называются углами *падения* и *отражения* соответственно. *Следовательно, закон отражения* гласит: *угол отражения равен углу падения.* Эти углы лежат в той же плоскости, что и бумага. Этот закон применим во всех случаях отражения света. Это аналогично закону отражения звука (ст. 326)

Важные темы

1. Фотометрия, закон интенсивности, мощность свечи, фут-свеча.

2. Интенсивность освещения.

3. Отраженный свет и закон отражения.

Упражнения

1. Обе стороны карточки одинаково подсвечиваются, когда два источника света находятся на противоположных сторонах от нее и на расстоянии 10 и 30 см соответственно от нее. какова их относительная интенсивность?

2. Какова относительная интенсивность освещения от газовой лампы книги на расстоянии 6 футов и 2 фута соответственно от источника света?

3. Что дороже в расчете на мощность свечи? Во сколько раз дороже? 50-ваттная лампа накаливания мощностью 16 свечей по цене 10 центов за киловатт-час или лампа Welsbach мощностью 100 свечей, сжигающая 5 кубических футов газа в час по цене 80 центов за 1000 кубических футов газа. (Найдите стоимость каждой свечи в час, а затем стоимость 1 часа мощности свечи для каждой.)

4. Почему обычные тени не являются идеально темными?

5. На каком расстоянии лампа мощностью 16 свечей будет давать такое же освещение, как и одиночная свеча на расстоянии 10 дюймов?

6. Если солнце находится на высоте 30 градусов, то под каким углом оно падает на поверхность воды? Каков угол между падающим и отраженным лучами?

7. В чем разница между явлениями отражения света от белого листа писчей бумаги и от куска прозрачного оконного стекла?

8. Горизонтальный луч света, движущийся строго на восток, попадает в вертикальное зеркало, так что после отражения он движется строго на север. Если теперь повернуть зеркало на 10 градусов вокруг вертикальной оси, а северный край переместиться на восток, каково будет направление отраженного луча?

9. Необходимое освещение для чтения составляет примерно 2 футовых свечи. На каком расстоянии можно разместить лампу мощностью 8 свечей?

10. Какова освещенность ножными свечами на поверхности в 20 футах от дуговой лампы мощностью 1000 свечей?

11. На каком расстоянии от лампы Welsbach мощностью 100 свечей освещение составляло бы 2 футовых свечи?

(3) Зеркала и формирование изображений

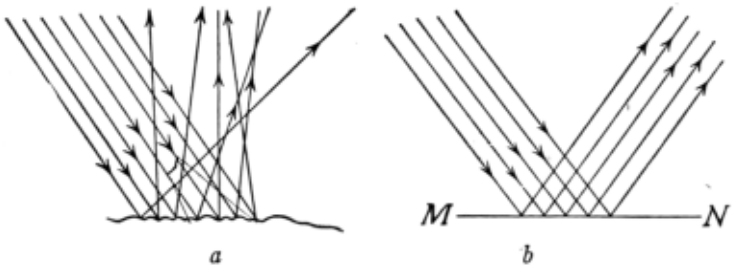


Fig. 353.—Reflection of light, (*a*) diffused, (*b*) regular.

Рис. 353.—Отражение света, (*а*) рассеянное, (*б*) регулярное.

362. Зеркала.—Благодаря множеству целей, которым зеркала служат в нашей повседневной жизни, их использование стало привычным для всех. Однако без изучения и эксперимента мало кто понимает их свойства и действие. *Любая гладкая* поверхность может служить зеркалом, например, стекло, вода, полированное дерево или металл. Большинство

предметов, в отличие от зеркал, имеют неровные поверхности; они рассеивают падающий на них свет. (См. рис. 353*a*.) Это называется *рассеянным или нерегулярным отражением*. Отражение света от гладкой поверхности зеркала является *регулярным*. (См. рис. 353*b*.) Однако в каждом случае отраженного света угол отражения равен углу падения, а рассеяние происходит из-за неровности поверхности. Именно с помощью света, "рассеянного" от поверхности освещенных объектов, таких как растения, животные, продукты питания и промышленные изделия, мы "видим" различные объекты вокруг нас, и именно этот свет позволяет нам судить об их расстоянии, размере, форме, цвете и т.д. Луну можно увидеть по солнечному свету, отраженному от ее поверхности. Следовательно, лунный свет - это солнечный свет, рассеянный отражением. *Новолуние* - это такая фаза или состояние Луны, когда только узкая полоска освещенной поверхности Луны обращена к земле. Во время *полнолуния* видна вся освещенная поверхность.

363. Изображения, формируемые плоским зеркалом.—Зеркала чаще всего используются для формирования изображений. Способ формирования изображений с помощью плоского зеркала может быть проиллюстрирован диаграммами. Таким образом, на рис. 354 пусть *L* представляет светящееся тело и *E* и *E* два положения глаза наблюдателя. Примите за *LO* любую линию или луч, вдоль которых свет от *L* падает на зеркало *O-O*. Он будет отражен так, что угол *LOP* будет равен углу *POE*. Аналогично с любым другим лучом, таким как *LO*, отраженный луч *OE* имеет такое направление, что угол *LOE* равен углу *POE*. Любые другие лучи будут отражаться аналогичным образом, причем глазу будет казаться, что каждый из отраженных лучей исходит из точки *L* за зеркалом.

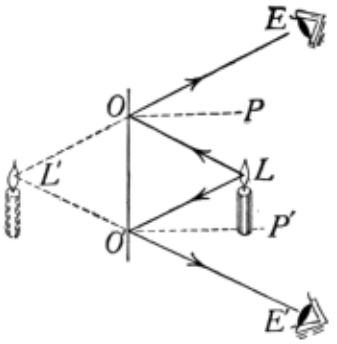


FIG. 354.—The virtual image of a fixed object as seen in a plane mirror, has the same location from every position of the observer's eye.

Рис. 354.— Виртуальное изображение неподвижного объекта, видимое в плоском зеркале, имеет одно и то же местоположение с любого положения глаза наблюдателя.

364. Световые волны и волновые диаграммы.—Подобно тому, как палочка, непрерывно перемещаемая по поверхности водоема, создает серию волн, распространяющихся во всех направлениях, так и можно представить цепочку волн, посылаемых светящимся телом *L* (как на рис. 355) к зеркалу *MN*. Эти волны будут отражаться от зеркала так, как если бы источник света находился на *L*. Гораздо проще и удобнее определить положение изображения точки с помощью линий или "лучей" (как на рис. 354), чем с помощью волновой диаграммы (как на рис. 355). Однако на всех *лучевых диаграммах* следует иметь в виду, что *так называемый* луч - это символ, используемый для обозначения направления, принятого частью световой волны. Таким образом, на рис. 354 свет от *L*, движущийся к *O*, отражается к *E* вдоль линии *OE*, жирные линии представляют лучи.

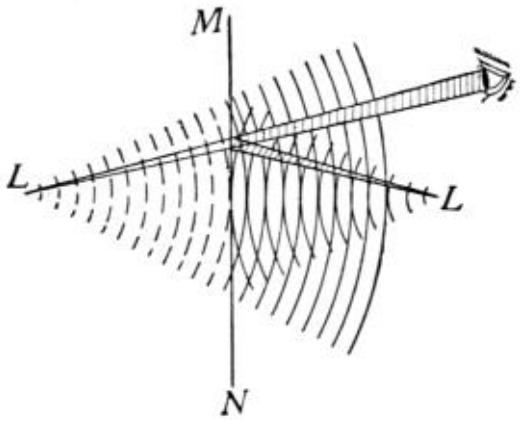


FIG. 355—Wave diagram of image formed in a plane mirror.

Рис. 355.—Волновая диаграмма изображения, формируемого в плоском зеркале.

365. Для определения местоположения изображения объекта, сформированного плоским зеркалом, *требуется* просто применить закон отражения. Таким образом, на рис. 356 пусть *AB* представляет собой объект, а *MN* - плоское зеркало. Пусть *AA* - луч от *A*, падающий на зеркало *перпендикулярно*. Следовательно, он отражается обратно по той же линии в направлении *A*. Пусть *AO* представляет любой другой луч из *A*. Он будет отражен вдоль *OE* так, что угол *r* будет равен *i*. Пересечение *AC* и *OE* в точке *A* за зеркалом определяет местоположение точки *A*, видимой по отражению от зеркала. Геометрически можно доказать, что треугольники *ACO* и *ACO* равны. Следовательно, *переменный ток* равен *переменному току*. Это указывает на то, что *изображение точки, сформированное плоским*

зеркалом, находится на том же расстоянии позади зеркала, что и сама точка перед ним. Этот принцип может быть использован для определения местоположения изображения точки *B* в *точке B*. Определение положения *конечных точек* изображения определяет положение всего изображения как *AB*.

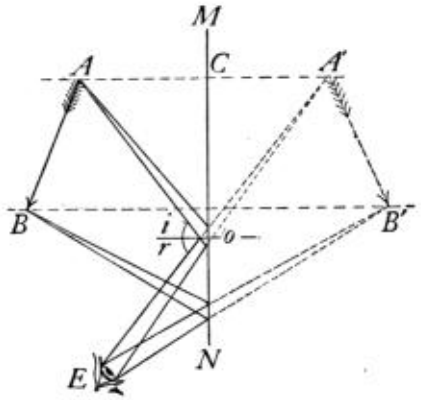


FIG. 356.—The image *A' B'* is as far back of the mirror *M N* as the object *A B* is in front of the mirror.

Рис. 356.— Изображение *AB* находится за зеркалом на таком же расстоянии *Mn*, на каком объект *A B* находится перед зеркалом.

366. Как воспринимается Изображение.—Предположим, что глаз находится в точке *E*. Он будет получать свет от *A* путем отражения, как если бы он исходил от *A*. Аналогично, свет, исходящий от *B*, достигает глаза со стороны *B*. *На самом деле* за зеркалом нет ничего, что могло бы повлиять на наше зрение, свет распространяется только в пространстве перед зеркалом. Однако действие отраженного света таково, что он производит тот же эффект, как если бы он исходил из-за зеркала. Изображения, такие как видимые в плоских зеркалах, называются *виртуальными*, чтобы отличать их от *реальных* изображений, при которых свет действительно попадает в глаз от различных частей видимого изображения, как от реального изображения, сформированного проецируемым на экран фонарем или отверстием, как в камере с точечным отверстием. Таким образом, реальные изображения - это те, которые можно получить на экране, в то время как виртуальные изображения - нет.

367. Многократное отражение.—Если свет от объекта отражается двумя или более зеркалами, могут возникать различные эффекты, как это можно проиллюстрировать на примере *калейдоскопа*. Он состоит из трех плоских зеркал, расположенных таким образом, что поперечное сечение трех из них образует равносторонний треугольник. Зеркала помещены в трубку, на конце которой находится отделение с полупрозрачной крышкой, содержащее кусочки цветного стекла. При взгляде через трубку отражения от нескольких поверхностей создают красивые шестиугольные узоры.

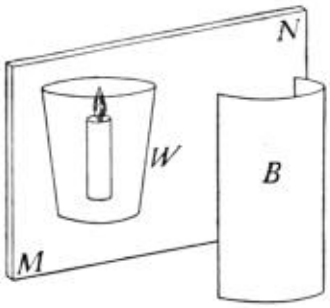


FIG. 357.—Perspective view of "Pepper's ghost."

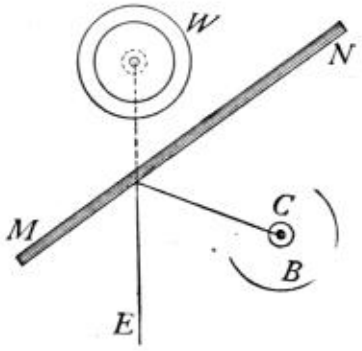


FIG. 358.—Diagram of the "Pepper Ghost" illusion.

Рис. 357.— Перспективный вид "Призрака Пеппера".
Рис. 358.— Схема иллюзии "Призрака Пеппера".

368. Оптические иллюзии с помощью плоского зеркала.— *Иллюзия*, называемая *Призраком Пеппера*, типична для многих иллюзий, создаваемых отражением. Это можно проиллюстрировать, взяв кусок листового стекла, *M-N*, стакан с водой, *W*, и зажженную свечу, *C*, помещенные в коробку, *B*, открытую с одной стороны и расположенную так, как показано в перспективе на рис. 357, и в разрезе на рис. 358. Если эффект создается в затемненной комнате, наблюдатель на *E* видит виртуальное изображение зажженной свечи, как если бы она находилась в стакане с водой, причем вода видна благодаря проходящему свету *через* зеркальное стекло, последнее формирует виртуальное изображение свечи за счет отражения. Вот некоторые из иллюзий, создаваемых этим способом: (*a*) фигура, подвешенная в воздухе; (*b*) бюст человека без туловища; (*c*) призрак сцены; (*d*) исчезающий букет.

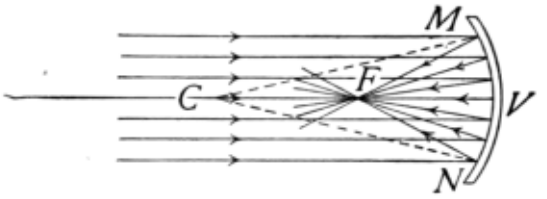


FIG. 359.—Action of a concave mirror on parallel rays of light.

Рис. 359.— Воздействие вогнутого зеркала на параллельные лучи света.

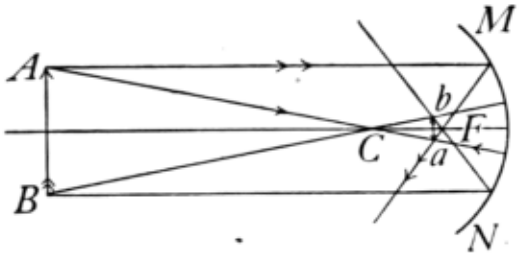


FIG. 360.—Real image formed by a concave mirror.

Рис. 360.— Реальное изображение, сформированное вогнутым зеркалом.

369. Вогнутые зеркала.—Другой полезной частью физического устройства является вогнутое сферическое зеркало. Его часто изготавливают из плосковыпуклых линз путем посеребрения выпуклой поверхности линзы, создавая таким образом вогнутую отражающую поверхность на внутренней поверхности посеребренной детали; их также изготавливают путем полировки внутренних поверхностей металлических сферических оболочек. Вогнутое зеркало представлено в разрезе на рис. 359 кривой *MN*; *C* - это *центр кривизны* или центр поверхности, частью которой является это зеркало *MN*; линия *VC*, проходящая через центр *V* зеркала, называется *главной осью*; в то время как любая другая линия, проходящая через *C*, называется *вторичной осью*. Точка на полпути между вершиной *V* и центром кривизны *C* называется *главным фокусом*, *F*. Это точка, через которую проходят параллельные падающие лучи после отражения. Угол *MCN*, который изгиб зеркала составляет в центре, называется апертурой зеркала. Из статьи 361 мы узнали, что угол отражения луча света всегда равен углу падения, независимо от природы отражающей поверхности. Если отражающая поверхность представляет собой правильную вогнутую

поверхность, подобную внутренней поверхности сферы, лучи света, исходящие от точечного источника, могут после отражения попасть в фокус, образуя реальное изображение. Для определения местоположения изображения объекта следует выбрать две крайние точки; на рис. 360 показана конструкция. Реальные изображения, сформированные вогнутыми зеркалами, всегда перевернуты. Основной фокус вогнутого зеркала можно наблюдать, держа зеркало под лучом солнечного света, проникающего в затемненную комнату. Солнечные лучи после отражения сходятся, образуя небольшое, круглое, интенсивное световое пятно, которое является реальным изображением солнца, расположенным в главном фокусе зеркала. Расстояние главного фокуса от зеркала - это наименьшее расстояние, на котором может быть сформировано реальное изображение перед вогнутым зеркалом.

370. Виртуальные изображения с помощью вогнутых зеркал.—Когда свет исходит из небольшой точки, расположенной между вогнутым зеркалом и его основным фокусом, отраженные лучи расходятся, и, следовательно, перед зеркалом невозможно найти реальное изображение объекта. Но если лучи вытянуты за зеркало, они встретятся в точке, называемой *виртуальным фокусом*. Это точка, из которой они, по-видимому, исходят. Следовательно, любое изображение объекта, расположенного между главным фокусом и вогнутым зеркалом, является виртуальным изображением, прямым и большим, чем сам объект. (См. рис. 361.)

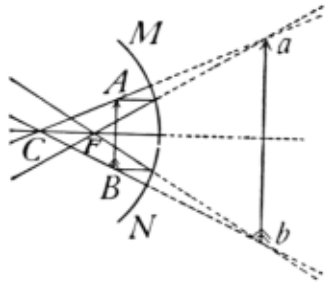


FIG. 361.—Virtual image formed by a concave mirror.

Рис. 361.— Виртуальное изображение, сформированное вогнутым зеркалом.

371. Построение реальных изображений.—Существует пять положений, в которых объект может располагаться перед вогнутым зеркалом, а именно: (1) *за C*; (2) в *C*; (3) *между C и F*; (4) *в F* и (5) *между F* и *V*. Есть два способа, с помощью которых изображение, сформированное в каждом из этих положений, может быть расположено, а именно: (1) *экспериментально*, позволяя лучам света от светящегося тела сфокусироваться на экране и (2) *схематично*. С помощью последнего метода рассматриваются два луча света, направление каждого из которых может быть легко определено; во-первых, луч, который попадает в зеркало параллельно его главной оси и который после отражения проходит через главный фокус; во-вторых, луч, который, проходя через центр кривизны, попадает в зеркало под прямым углом и, следовательно, после отражения должен проходить прямо обратно по своему падающему пути. Там, где пересекаются эти два отраженных луча, находится реальное изображение объекта. Всякий раз, когда эти два луча света действительно пересекаются, как показано на рис. 360, формируется реальное изображение объекта (*ab*) *AB*.

Точки *A* и *a*, *B* и *b* и другие, аналогичным образом расположенные на оси, проходящей через центр кривизны *C*, называются *сопряженными фокусами*, поскольку они связаны таким образом, что объект, находящийся в любом из них, его изображение будет найдено в другом.

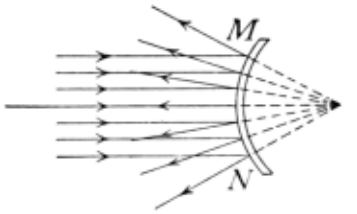


FIG. 362.—Action of a convex mirror upon parallel rays of light.

Рис. 362.Воздействие выпуклого зеркала на параллельные лучи света.

372. Выпуклое зеркало.—Выпуклым зеркалам можно найти несколько практических применений. Иногда они используются для того, чтобы водитель автомобиля мог видеть дорогу позади себя. Затем они прикрепляются к ветровому щитку с помощью короткого стержня. Отраженные лучи, исходящие от выпуклого зеркала, всегда расходятся (см. рис. 362), следовательно, изображение всегда виртуальное и находится за отражающей поверхностью. Метод построения изображений, сформированных выпуклым зеркалом, аналогичен методу построения изображений, сформированных вогнутыми зеркалами. (См. рис. 363.) Центр кривизны и главный фокус находятся позади зеркала, и, следовательно, отраженные лучи должны направляться назад до тех пор, пока они не встретятся. Изображения всегда *виртуальные*, *вертикальные* и *меньше*, чем объект.

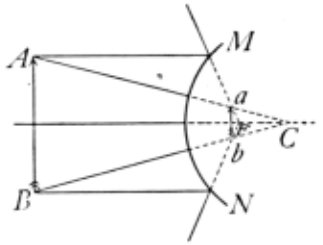


FIG. 363.—Construction of an image by a convex mirror.

Рис. 363.—Построение изображения выпуклым зеркалом.

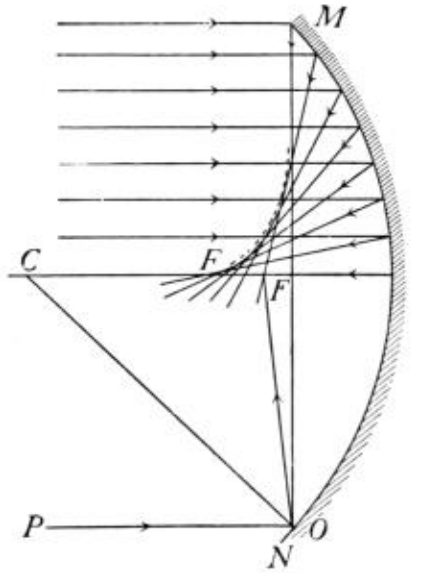


FIG. 364.—Illustrations of Spherical Aberration.

Рис. 364.—Иллюстрации сферической аберрации.

373. Сферическая аберрация. Иногда в вогнутом зеркале при большой диафрагме *MCN* (рис. 364) изображения получаются размытыми или нечеткими. Это связано с тем фактом, что падающие лучи вблизи внешнего края зеркала не фокусируются после отражения в той же точке, что и те, которые проходят в зеркало вблизи вершины, а пересекают главную ось в точках между зеркалом и главным фокусом, как показано на рис. 364; этот результат называется *сферической аберрацией*. Чем больше апертура зеркала, тем более размыто изображение. На практике вогнутые зеркала имеют апертуру не более 10 градусов. Это расфокусирование лучей света изогнутыми отражающими поверхностями можно заметить во многих местах, например, когда свет отражается от внутренней поверхности чашки с молоком или от внутренней стороны широкого золотого кольца, положенного поверх листа белой бумаги. Ученик отметит другие примеры. Эта наблюдаемая кривая света называется *каустической по отражению*.

374. Параболические зеркала.—Наилучшая возможная поверхность для придания вогнутым зеркалам - параболическая. Это кривая, которая может быть сгенерирована перемещением точки таким образом, чтобы ее расстояние от фиксированной точки и фиксированной линии всегда было равным. Если источник света расположен в точке *F*, то лучи после отражения становятся параллельными. См. рис. 365. Этот отражатель используется в автомобильных фонарях, фарах локомотивов, прожекторах и т.д. Оно также используется в больших отражающих астрономических телескопах для сбора как можно большего количества света от далеких звезд и фокусировки его. Такие зеркала могут быть сделаны чрезвычайно точными.

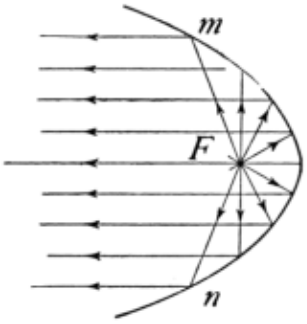


FIG. 365.—Parabolic mirror.

Рис. 365.—Параболическое зеркало.

Важные темы

1. Отражение: регулярное, рассеянное; плоские зеркала; законы отражения.

2. Формирование и расположение изображений плоскими зеркалами. Волновые и лучевые диаграммы.

3. Множественное отражение, иллюзии.

4. Криволинейные зеркала, применение; вогнутые, выпуклые, параболические.

Упражнения

1. Различайте регулярное и рассеянное отражение. С помощью чего мы видим несветящиеся тела?

2. Можно ли увидеть идеальную отражающую поверхность? Объясните.

3. Карандаш стоит вертикально перед плоским зеркалом, установленным под углом 45 градусов к вертикали. Показано на схеме расположение изображения.

4. Покажите с помощью диаграмм положение и локализацию изображений карандаша (а), когда вы стоите прямо перед *вертикальным* зеркалом. (б) когда стоишь на горизонтальном зеркале.

5. В чем разница между реальным и виртуальным изображением?

6. Стандартная свеча и лампа одинаково хорошо освещают экран, расположенный на расстоянии 1 фута от свечи и 6 футов от лампы. Какова мощность свечи в лампе? Объясните.

7. Почему стены, отделанные грубой штукатуркой или окрашенные в мягкие тона без блеска, лучше подходят для школьных комнат, чем глянцевые краски или гладкая белая штукатурка?

8. Попробуйте прочитать напечатанную страницу, глядя на ее отражение в зеркале. напишите свое имя задом наперед на листе бумаги, а затем посмотрите на изображение написанного в зеркале. Какой эффект производит зеркало в каждом конкретном случае?

9. Если поднести кончик карандаша к поверхности куска зеркального листа, в зеркале можно увидеть два или более изображения. Объясни.

10. Имея при себе маленькую зажженную свечу, вогнутое зеркало, измерительную палочку и белый экран, как бы вы доказали утверждения, сделанные в статьях 369 и 370, относительно расположения изображений, образованных вогнутыми зеркалами? Составьте схему в каждом конкретном случае.

11. Почему изображения, видимые в тихом пруду с водой, кажутся перевернутыми? Объясните с помощью диаграммы.

(4) Преломление света

375. Распространенные примеры преломления.—Все замечали кажущийся изгиб весла, палки или ложки, когда их опускали в воду (см. Рис. 366), в то время как многие замечали, что дно пруда или ручья выглядит ближе к поверхности, чем оно есть на самом деле. Эти и подобные иллюзии возникают из-за *преломления* или изгиба световых лучей при переходе из одной среды в другую. Принципы преломления являются одними из наиболее полезных при изучении света, поскольку они применяются при конструировании и использовании важных оптических инструментов, таких как фотоаппарат, микроскоп, телескоп и глаз.

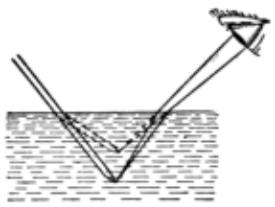


Fig. 366.—The stick appears to be bent on account of refraction.

Рис. 366.—Палочка кажется согнутой из-за преломления света.

376. Действие света, подвергающегося преломлению.—Если впустить солнечный луч в затемненную комнату и отразить его зеркалом так, чтобы он упал на поверхность воды в стеклянной банке, можно увидеть, что часть луча отражается, в то время как другая часть проходит через воду (рис. 367). Отраженный луч следует закону отражения, в то время как проходящий луч, как видно, *преломляется*или его траектория слегка изменяется в направлении при попадании в воду. Если зеркало повернуть так, чтобы изменить угол, под которым свет падает на воду, изменяется величина преломления или изменение направления света. Когда свет падает на воду перпендикулярно, преломления не происходит. С другой стороны, чем больше угол, под которым свет падает на воду, тем больше изгиб.

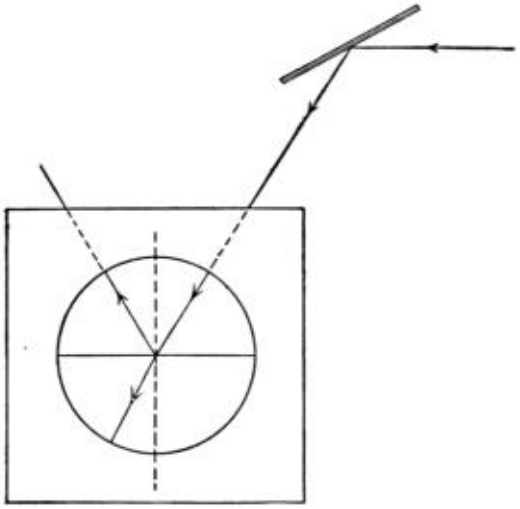


FIG. 367.—Part of the ray is reflected and part passes into the water and is refracted.

Рис. 367.—Часть луча отражается, а часть проходит в воду и преломляется.

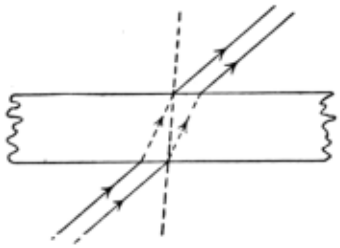


FIG. 368.—Illustrating the laws of refraction of light.

Рис. 368.—Иллюстрация законов преломления света.

377. Законы преломления. Действие света на проникновение, прохождение сквозь большое разнообразие веществ и выход из них было тщательно изучено. Краткое изложение результатов этих наблюдений приведено в следующих *законах преломления*: I. *Когда свет проникает в прозрачное тело перпендикулярно, он проходит дальше, не меняя своего направления.* II. *Когда свет входит в более плотное прозрачное тело наклонно, он отклоняется к перпендикуляру; когда свет входит в менее плотное тело наклонно, он отклоняется от перпендикуляра.* (См. рис. 368.)

378. Причину рефракции можно проиллюстрировать, рассматривая шеренгу людей, движущихся по полю и занимающих через равные промежутки времени последовательные позиции 1, 2, 3 и т.д., указанные на рис. 369. Предположим, что верхняя и нижняя части поля имеют гладкую твердую поверхность, в то время как в центре находится полоса недавно

вспаханной земли. Леска будет двигаться медленнее по вспаханному полю, чем по твердому. Это приведет к замедлению движения конца лески, сначала ударяющегося о мягкую землю, что приведет к изменению направления лески, *в сторону* перпендикуляра к краю поля (*при въезде в место с более сложным движением*) и *в сторону* от перпендикуляра при въезде в место, где *увеличивается скорость*.

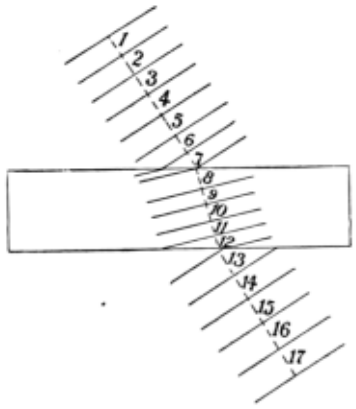


FIG. 369.—Diagram illustrating the cause of refraction.

Рис. 369.—Диаграмма, иллюстрирующая причину рефракции.

379. Показатель преломления.—Изучая изменение направления движения марширующих людей, как показано на рис. 369, *во-первых,* очевидно, что это связано с разницей в скорости в двух средах. Нелегко измерить скорость света в среде. Однако величину преломления можно легко определить, и на основе этого можно вычислить *относительную* скорость. *Число, выражающее отношение скорости света в воздухе к его скорости в другой среде, называется показателем преломления этой среды*. Относительные скорости света или показатели преломления для некоторых веществ: вода - 1,33, корончатое стекло - 1,51, кремневое стекло - 1,61, алмаз - 2,47, бисульфид углерода - 1,64.

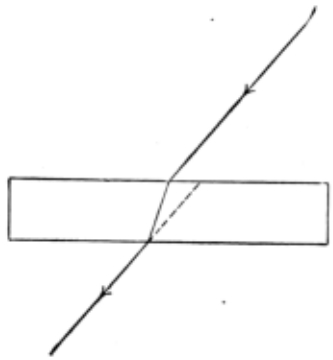


FIG. 370.—The incident ray and the emergent ray are parallel.

Рис. 370.— Падающий луч и исходящие лучи параллельны.

380. Пластины, Призмы, линзы.— Преломление света обычно наблюдается, когда он проходит через пластинку, призму или линзу. Важные различия между эффектами каждого из них в преломлении света проиллюстрированы на рис. 370, 371 и 372. На рис. 370 видно, что преломлению луча при входе в стекло противодействует преломление от перпендикуляра при выходе из него. Так что входящий и исходящий лучи *параллельны*. На рис. 371 преломление на двух поверхностях призмы приводит к изменению направления луча, при этом траектория изгибается в сторону *более*толстой*части* призмы, которая

находится на поверхности. На рис. 372 можно заметить, что выпуклая линза напоминает две призмы, соединенные основаниями вместе. Поскольку все части линзы преломляют свет в направлении более толстой части, центра, эффект выпуклой линзы заключается в фокусировании лучей света при *F*.

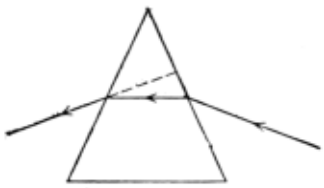


Fig. 371.—Effect of a prism upon a ray of light.

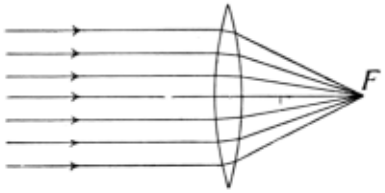


Fig. 372.—The convex lens brings the rays of light to a focus.

Рис. 371.— Воздействие призмы на луч света.
Рис. 372.—Выпуклая линза фокусирует лучи света.

381. Полное отражение.— Было показано, что когда свет переходит от *более плотной к более легкой* среде, например, от стекла или воды к воздуху, луч преломляется *в сторону* от перпендикуляра. Это показано на рис. 373. Диаграмма представляет изменение направления луча света, который проходит через воду к поверхности с воздухом над ней. Луч, падающий перпендикулярно, проходит насквозь без преломления. Другие лучи демонстрируют увеличение преломления с увеличением угла падения. Для одного луча угол преломления настолько велик, что преломленный луч параллелен поверхности. При достижении этого условия *угол падения* называется *критическим углом*. Любое увеличение угла падения приводит к отражению всего света вместе с лучом *E*. Это действие называется *полным отражением*, поскольку движение отраженного луча происходит в соответствии с законом отражения. *Прямоугольная призма* (см. рис. 374) часто используется там, где обычно используется зеркало, причем полное отражение, происходящее внутри призмы, дает более удовлетворительные результаты, чем зеркало. Смотрите Статью 398 с описанием бинокулярного бинокля Zeiss для примера такого использования полного отражения.

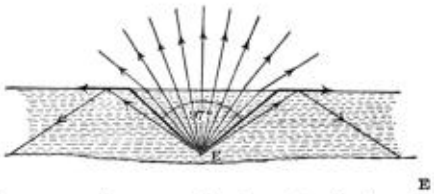


Fig. 373.—An example of total reflection.

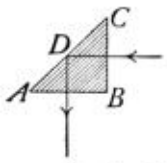


Fig. 374.—Total reflection in a right-angle prism.

Рис. 373.— Пример тотального отражения.
Рис. 374.— Полное отражение в прямоугольной призме.

Мираж (см. рис. 375) - это оптическая иллюзия, при которой иногда отчетливо видны удаленные объекты за горизонтом. Это явление чаще всего наблюдается в жарких пустынных регионах, когда условия воздуха таковы, что нижние слои у земли намного горячее, чем верхние. Эти нижние слои, которые расширились больше всего, менее плотны, чем более холодные слои выше. Следовательно, луч света, движущийся наклонно вниз, преломляется все больше и больше, пока не произойдет полное отражение. Видимые изображения перевернуты, давая представление о деревьях или других объектах, отраженных на поверхности стоячей воды. Мираж также часто можно увидеть в море, где наблюдаются корабли, иногда стоячие, иногда перевернутые, по-видимому, плывущие в облаках у горизонта. Над Великими озерами иногда можно отчетливо разглядеть деревья, лодки и города на противоположном берегу, в шестидесяти или семидесяти милях от нас, по-видимому, всего в нескольких милях. В этом случае изображения получаются

вертикальными, при этом полное отражение происходит от теплых неподвижных слоев воздуха по сравнению с более холодными слоями у воды.

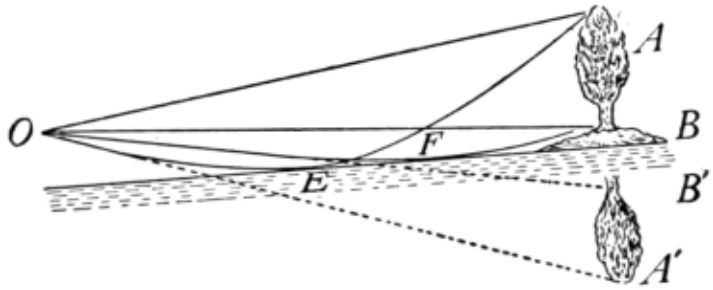


FIG. 375.—Diagram of a mirage.

Рис. 375.—Схема миража.

Важные темы

A) Преломление: причина, иллюстрация, два принципа.

(B) значение показателя преломления.

(C) Пластины, призмы, линзы, действие каждой из них.

(D) Полное отражение, использование.

Упражнения

1. Вычислите скорость света в воде, при этом показатель преломления равен 1,33.

2. Если кто-то хочет подстрелить рыбу под водой, должен ли он целиться в видимое местоположение рыбы, если смотреть с воздуха? Объясните, используя диаграмму.

3. Определите рефракцию. Приведите две иллюстрации этого действия, которые вы наблюдали вне школы.

4. Почему луна кажется больше у горизонта?

5. Видно ли ваше отражение в луже воды вверх ногами? Почему?

6. Почему патока отбеливает конфеты, вытягивая их?

7. Почему при взгляде на здание через обычное оконное стекло прямые линии здания кажутся такими искаженными? Почему кажется, что они движутся, когда вы слегка поворачиваете голову?

8. Объясните явление, которое наблюдается при взгляде на объект через воздух, выходящий из горячей плиты или радиатора.

9. Часто горизонтальный диаметр заходящего солнца кажется больше вертикального. Объясните.

10. Объясните, почему человек наблюдает несколько изображений светящегося тела, похожего на зажженную свечу, когда отраженный свет от зеркала из толстого стекла попадает в глаз при большом угле отражения.

(5) Формирование изображений с помощью линз

382. Применение линз в оптических приборах.—Использование инструментов, в работе которых используются линзы, таких как очки для чтения и театральные бинокли, а также фотоаппарат, микроскоп и телескоп, знакомо большинству изучающих физику. Роль, которую играют линзы, однако, не совсем понятна. Следовательно, изучение формирования изображений линзами представляет общий интерес и важность.

383. Формы линз.—Хотя линза может быть изготовлена из любого прозрачного твердого вещества, обычно ее изготавливают из стекла. Он может иметь две изогнутые поверхности или одну изогнутую и одну плоскую поверхность. Большинство линз являются *сферическими линзами*, поскольку их изогнутые поверхности образуют часть поверхности сферы. На рис. 376 представлена сферическая линза с изогнутой поверхностью, совпадающей с поверхностью сферы, центр которой находится в точке *C*. Этот центр называется *центром кривизны*, а радиус сферы *R* - это *радиус кривизны*.

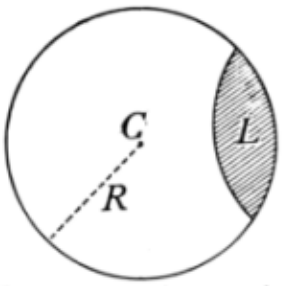


Fig. 376.—Formation of a spherical lens.

Рис. 376.—Формирование сферической линзы.

Существует два класса линз: линзы с толщиной в середине называются *выпуклыми*, а линзы с толщиной по краям - *вогнутыми*. Способ изготовления шести форм сферических линз показан на рис. 377. Они называются следующим образом: (1) двувыпуклые, (2) плосковыпуклые, (3) вогнуто-выпуклые, (4) двувогнутые, (5) плосковогнутые, (6) выпукло-вогнутые.

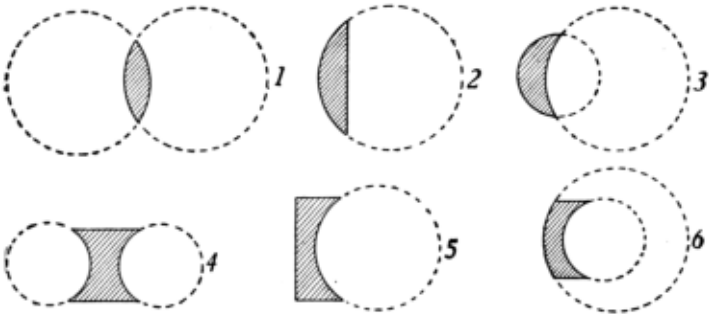


Fig. 377.—Forms of Lenses. 1. double convex; 2. plano convex: 3. concavo convex; 4. double concave; 5. plano concave; 6. convexo concave.

Рис. 377.-Формы линз. 1. дважды выпуклый; 2. плосковыпуклый; 3. вогнуто-выпуклый; 4. дважды вогнутый; 5. плосковогнутый; 6. выпукло-вогнутый.

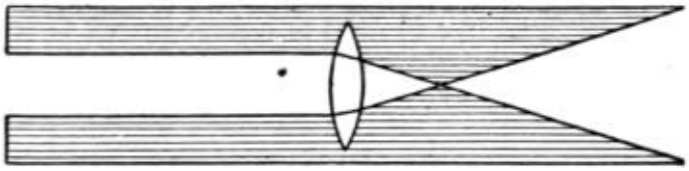


FIG. 378.—The action of a burning glass.

Рис. 378.—Действие горящего стекла.

384. Влияние линз на свет.—Наиболее важной характеристикой линзы является ее воздействие на луч света. Большинство людей видели "горящее стекло", двойную выпуклую линзу, используемую для наведения на точку или фокусировки луча солнечного света. Чтобы продемонстрировать действие горящего стекла, направьте луч света в затемненную комнату и поместите на его пути двойную выпуклую линзу. (См. рис. 378.) Если рядом с линзой провести двумя ластиками для классной доски, частицы мела на пути света будут сильно подсвечены, показывая, что свет, пройдя через линзу, попал в фокус и распространяется за пределы этой точки. Эта точка, к которой сходится конус световых лучей после прохождения через выпуклую линзу, называется *главным* фокусом линзы. Расстояние от основного фокуса до центра объектива - это *фокусное расстояние* или *главное фокусное расстояние* объектива. *Фокусное расстояние двойных выпуклых линз crown glass примерно такое же, как радиус кривизны любой поверхности.* Воздействие выпуклой или сходящейся линзы на свет можно лучше понять, изучив рис. 379, на котором свет проходит от *S* к *F*. Последовательные положения и форма наступающих световых волн обозначены линиями, проведенными поперек луча. Поскольку свет сильнее задерживается в более толстой части линзы, световые волны на выходе из линзы имеют вогнутую переднюю часть. Поскольку световые волны имеют тенденцию двигаться под прямым углом к передней части волны, свет фокусируется. После прохождения фокуса волны имеют выпуклый фронт, образующий расходящийся конус.

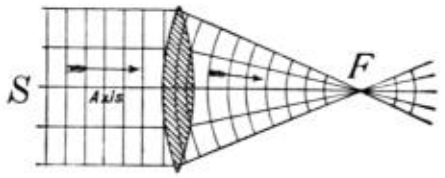


FIG. 379.—Wave diagram of light passing through a convex lens.

Рис. 379.—волновая диаграмма прохождения света через выпуклую линзу.

385. Вогнутые линзы.—Когда солнечный свет проходит через *вогнутую* линзу, образуется расходящийся световой конус. (См. рис. 380.) Это вызвано тем, что края волны замедляются больше, чем центр, создавая выпуклый волновой фронт. Этот расходящийся конус света действует так, как если бы он исходил из светящейся точки в точке *F*.

Эта точка называется *виртуальным* фокусом и находится почти в центре кривизны ближайшей поверхности.

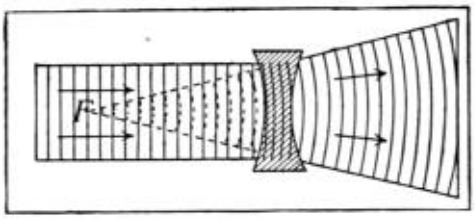


FIG. 380.—Wave diagram of light passing through a concave lens.

Рис. 380.—волновая диаграмма света, проходящего через вогнутую линзу.

386. Формирование изображений с помощью линз.—Если пучок, состоящий из *параллельных* лучей света, таких как солнечный свет, по очереди пропускается через три выпуклые линзы одинакового диаметра, но разной толщины, то обнаруживается, что чем *толще линза, тем больше ее сходящаяся способность или тем короче ее фокусное* расстояние. (См. рис. 381.) Теперь, если светящийся объект, такой как зажженная свеча, поместить рядом с выпуклой линзой, но *за пределами ее фокусного расстояния*, свет сфокусируется на другой стороне линзы, и изображение свечи может быть четко видно на экране, размещенном в этой точке. (См. рис. 382.) *Две точки, расположенные на противоположных сторонах линзы таким образом, что объект в одной из них формирует изображение в другой, называются сопряженными фокусами.*

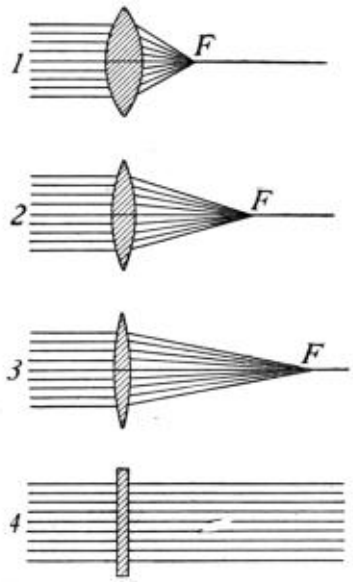


FIG. 381.—The thicker the lens, the shorter is its focal length.

Рис. 381.—Чем толще линза, тем короче ее фокусное расстояние.

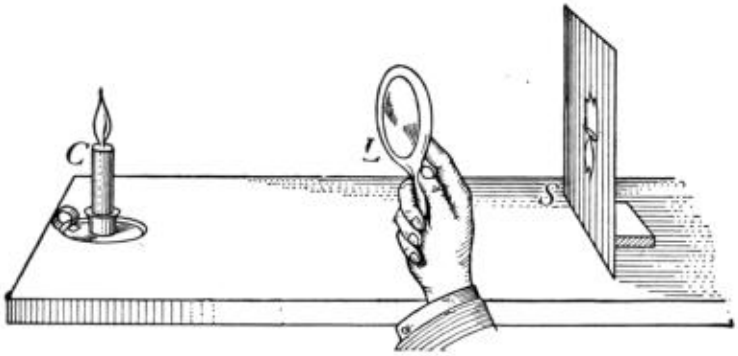


FIG. 382.—*C* and *S* are at conjugate foci.

Рис. 382.—*C* и *S* расположены в сопряженных фокусах.

Будет полезно сравнить изображения свечи с помощью *диафрагмы* и *выпуклой* линзы. Лучи света из каждой точки светящегося тела проходят через отверстие по прямым линиям и создают на экране освещенное пространство той же формы, что и свеча. Очертания этого изображения довольно *расплывчаты*. Каждый конус лучей от светящихся точек пламени фокусируется линзой на экране, создавая *четкое изображение*. Именно собирающая способность выпуклых линз позволяет им создавать четкие изображения.

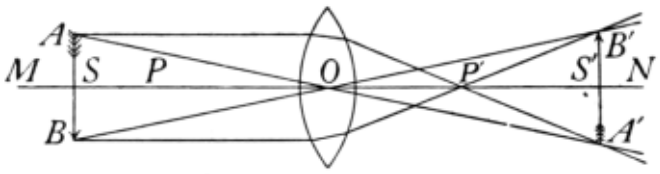


Fig. 383.—Construction of a real image by a convex lens

Рис. 383.— Построение реального изображения с помощью выпуклой линзы.

387. Построение диаграмм для представления формирования изображений линзами.—Подобно тому, как земля имеет ось под прямым углом к своему экватору, к которой привязаны положения и расстояния, так и линза имеет *главную ось*, расположенную под прямым углом к ее наибольшему диаметру, и вдоль этой оси расположены определенные положения, как показано на рис. 383. Пусть *MN* - *главная ось* выпуклой линзы, *P* и *P* являются *главными фокусами* по обе стороны от линзы, *S* и *S* являются *вторичными фокусами*. Они расположены в точках на главной оси, которые в два раза дальше от *O*, центра линзы, чем основные фокусы. При формировании изображений выпуклой линзой можно отметить несколько отчетливых случаев:

(A) если светящееся тело находится на *большом расстоянии* слева, его свет *фокусируется* на *P*, или его *изображение формируется в точке P*. (B) По мере приближения *объекта к* объективу *изображение постепенно удаляется* до тех пор, пока объект и изображение не окажутся на *значениях S* и , *на одинаковом расстоянии от O и равного размера* (как на рис. 383). Теперь считается, что объект и изображение находятся во *вторичных фокусах* линзы. (C) по мере того, как *объект перемещается из положения S в положение P*, изображение удаляется, быстро увеличиваясь в размерах, пока (D) когда объект находится в положении *P*, лучи не становятся параллельными, и изображение не формируется. (E) Когда объект находится между *P* и линзой, кажется, что лучи *исходят из точек, расположенных позади объекта*, таким образом формируя *вертикальное, увеличенное виртуальное изображение* объекта. (См. рис. 384.) Последнее устройство иллюстрирует *простой микроскоп*.

С вогнутой линзой возможен только один случай, соответствующий последнему упомянутому с выпуклыми линзами; поскольку лучи от тела расходятся после прохождения через вогнутую линзу, кажется, что они исходят из точек, которые *ближе* к линзе, чем к объекту, и, следовательно, формируется *виртуальное, прямое, уменьшенное изображение* объекта. Это виртуальное изображение можно увидеть, посмотрев *через* объектив в сторону объекта. (См. рис. 385.)

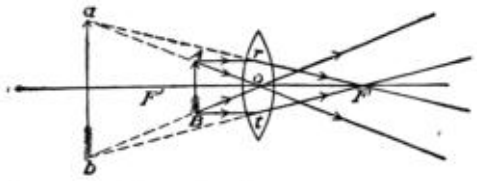


Fig. 384.—Construction of a virtual image by a convex lens.

Рис. 384.— Построение виртуального изображения с помощью выпуклой линзы.

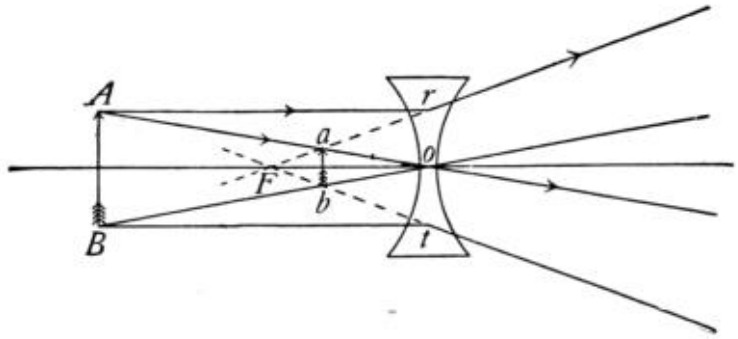


FIG. 385.—Construction of a virtual image by a concave lens.

Рис. 385.— Построение виртуального изображения с помощью вогнутой линзы.

388. Уравнение линзы.—Местоположение объекта или изображения относительно главной оси объектива может быть рассчитано, если известно положение одного из них и фокусное расстояние. Это достигается с помощью формулы $1/F = 1/D_0 + 1/D_1$, в которой F представляет фокусное расстояние, а D_0 и D_1 - расстояние от объектива до объекта и изображения соответственно. Таким образом, если объект поместить на расстоянии 30 см от объектива с фокусным расстоянием 10 см, где будет формироваться изображение? Таким образом: $1/10 = 1/30 + 1/D$ и $3D_1 = D_1 + 30$, или $2D_1 = 30$ $D_1 = 15$. Этот результат указывает на то, что реальное изображение будет находиться на расстоянии 15 см. от объектива. Значение минус будет указывать на виртуальное изображение.

Важные темы

(A) Линзы: выпуклые, вогнутые, шести форм, с центром и радиусом кривизны.

(B) основной фокус, фокусное расстояние, виртуальный фокус, сопряженные фокусы.

(C) Главная ось, изображения, формируемые, когда объект находится в различных местоположениях.

(D) вычисление местоположения изображений.

Упражнения

1. Почему изображение свечи, образованное отверстием, не имеет четких очертаний?

2. Когда фотограф делает ваш снимок и приближает камеру к вам, должен ли он перемещать экран с матовым стеклом к объективу или от него? Объясни.

3. Как вы можете определить основное фокусное расстояние объектива.

4. Как можно протестировать очковую линзу, чтобы определить, является ли она выпукло-вогнутой?

5. Когда выпуклая линза начнет создавать виртуальное изображение? Вы когда-нибудь видели такую? Где?

6. Когда фотограф желает получить изображение человека в полный рост, куда он помещает камеру?

7. Фокусное расстояние объектива составляет 24 см. На каком расстоянии от объектива должен располагаться объект, чтобы реальное изображение было в три раза длиннее объекта?

8. На матовом стекле фотоаппарата получается идеальное изображение объекта. Центр объектива составляет 20 см. перед изображением и объектом на расстоянии 75 см от объектива. Какое фокусное расстояние объектива?

9. Объект находится на расстоянии 60 см от объектива, изображение - на расстоянии 120 см. от него. Найдите фокусное расстояние.

10. Как можно экспериментально определить основное фокусное расстояние объектива?

11. Объектив используется для проецирования увеличенного изображения свечи на экран. Что находится дальше от объектива, свеча или изображение? Объясни.

(6) Оптические приборы

389. Глаз.—Наиболее распространенным оптическим прибором является *глаз*. Хотя строение глаза сложное, принцип его действия прост и заключается в формировании изображения с помощью двойной выпуклой линзы. (Смотрите рис. 386, на котором показан вертикальный разрез глаза спереди назад.) Глаз, по-видимому, состоит из частей двух сфер, одна из которых, меньшая, чем другая, расположена спереди. Эта выступающая часть прозрачна, но преломляет свет, падающий на нее косо, так, чтобы он попадал в глаз. Это позволяет нам видеть объекты сбоку, когда смотрим прямо перед собой. Проверьте это, глядя прямо перед собой, и посмотрите, как далеко сзади с каждой стороны головы вы можете заметить движение указательного пальца каждой руки.

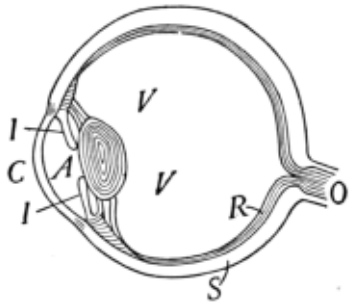


Fig. 386.—Cross-section of the eye.

Рис. 386.— Поперечный разрез глаза.

390. Действие глаза при видении.—Когда мы смотрим на объект, на *сетчатке* в задней части глаза формируется маленькое реальное перевернутое изображение. Сетчатка является продолжением зрительного нерва и покрывает внутреннюю поверхность в задней части глазного яблока. Зрение возникает благодаря действию света при формировании изображений на сетчатке. Наши глаза устроены так, что, когда они расслаблены, хрусталик настраивается таким образом, чтобы формировать на сетчатке четкие изображения *удаленных* объектов. Если мы переводим взгляд с удаленных объектов на близкие, не меняя формы хрусталика глаза, четкое изображение последнего не может быть сформировано, и мы получаем размытое впечатление. Однако трудно смотреть на объекты, не отрегулировав автоматически глазные линзы таким образом, чтобы они создавали четкое изображение. Проверьте это, посмотрев в окно на удаленный объект, затем, не двигая головой или глазами, посмотрите на оконное стекло; вы заметите какое-то небольшое изменение *в* самом глазу по мере настройки зрения. Эта регулировка производится мышцами, которые натягивают или сжимают хрусталик глаза, делая его толще для близких объектов и тоньше

для удаленных. Обычно глаз не видит объекты ближе 10 дюймов. четко. Это означает, что максимально возможное утолщение хрусталика не позволит формировать четкие изображения на сетчатке, если объект находится ближе 10 дюймов (25 см).

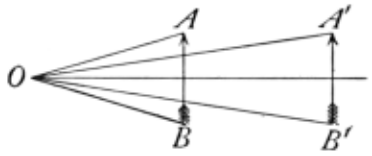


FIG. 387.—The visual angle, AOB is greater at AB than at $A'B'$.

Рис. 387.—Угол обзора, *AOB* больше при *AB*, чем при *AB*.

391. Угол обзора.—Для тщательного изучения объектов мы обычно подносим их как можно ближе к глазу, поскольку чем ближе к глазу подносится объект, тем больше образуемый им угол обзора (см. рис. 387) и тем крупнее его изображение на сетчатке. *Угол обзора объекта - это угол в хрусталике глаза между лучами, исходящими от концов объекта.* Следовательно, чем дальше объект, тем меньше угол его обзора. Теперь, если мы хотим рассмотреть небольшие предметы с особой тщательностью, мы часто обнаруживаем, что необходимо подносить их близко к глазу, чтобы у них был угол обзора соответствующего размера. Если они должны быть поднесены ближе, чем на 10 дюймов. двойная выпуклая линза помещается перед глазом. Это помогает хрусталику глаза концентрировать свет, чтобы можно было сформировать четкое изображение, когда объект находится близко, скажем, в дюйме или около того от глаза. Таков принцип увеличительного стекла, используемого часовщиками, и *простого микроскопа*. Действие последнего проиллюстрировано на рис. 388. Выпуклая линза формирует виртуальное увеличенное изображение "*A-B*" объекта "*A-B*", который она наблюдала, вместо самого объекта.

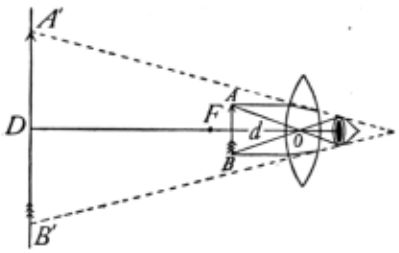


Fig. 388.—Action of the simple microscope.

Рис. 388.—Действие простого микроскопа.

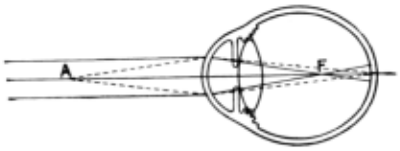


Fig. 389.—"Near sightedness, or myopia. Parallel rays come to a focus at *F*; emerging rays focus at *A*, the far point.

Рис. 389.— "близорукость", или миопия. Параллельные лучи фокусируются в точке *F*; возникающие лучи фокусируются в *A*, дальней точке.

392. Дефекты зрения.—Существует несколько дефектов зрения, которые можно исправить с помощью очков. Одним из них является "близорукость". Это происходит либо из-за удлиненного глазного яблока, либо из-за слишком выпуклого хрусталика, либо из-за обоих состояний. В этом случае свет от удаленных объектов фокусируется слишком быстро (как показано на рис. 389). В таких случаях на сетчатке фокусируется только свет от близких объектов. При *нормальном* зрении свет от *удаленных* или *близких* объектов может фокусироваться без особых усилий на сетчатке, см. рис. 390. Средством от близорукости является использование вогнутых линз, которые способствуют правильному преломлению света, так что фокус будет формироваться на сетчатке (рис. 391). "Дальнозоркость" противоположна близорукости; глазное яблоко либо слишком короткое, либо хрусталик слишком плоский, либо возникают оба условия, так что свет, попадающий в глаз, фокусируется за глазным яблоком (рис. 392). Средством защиты являются выпуклые линзы, которые помогут правильно рассеивать свет, см. рис. 393. Третий дефект называется *астигматизмом*. Это вызвано некоторой неправильностью или отсутствием симметрии в глазу. Это исправляется с помощью *цилиндрической* линзы, которая компенсирует этот дефект глаза. Диаграмма, похожая на рис. 394, используется в качестве теста на астигматизм. Если линии проявляются с неодинаковой отчетливостью, это указывает на некоторую неравномерность рефракции (астигматизм).

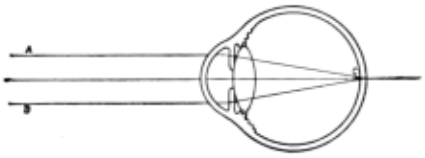


FIG. 390.—The normal eye. The parallel rays *A B* focus without accommodative effort at *C*.

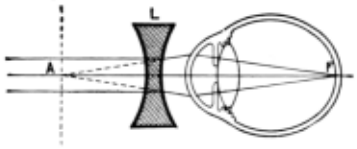


FIG. 391.—Correction of near-sightedness by concave lens.

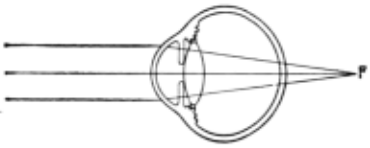


FIG. 392.—Far-sightedness or hyperopia. Parallel rays focused behind the retina.

Рис. 390.- Нормальный глаз. Параллельные лучи *A B* фокусируются без аккомодационных усилий на *C*.
Рис. 391.— Коррекция близорукости вогнутой линзой.
Рис. 392.—Дальнозоркость или дальнозоркость. Параллельные лучи сфокусированы за сетчаткой.

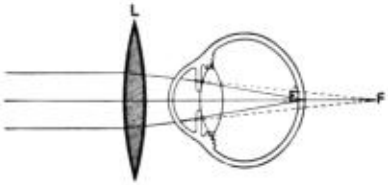


FIG. 393.—Correction of far-sightedness by a convex lens.

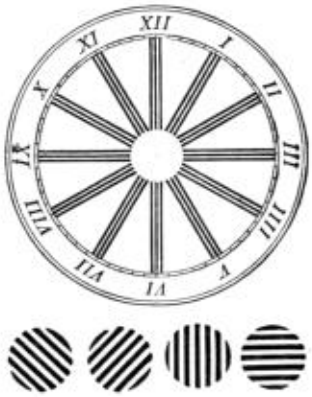


FIG. 394.—Test card for astigmatism.

Рис. 393.— Коррекция дальнозоркости выпуклой линзой.
Рис. 394.—Тест-карта на астигматизм.

393. Фотографический фотоаппарат.— Это светонепроницаемая коробка, снабженная выпуклой линзой спереди, закрывающей диафрагму, и матовым стеклянным экраном сзади. Расстояние между объективом и экраном регулируется до тех пор, пока на последнем не будет получено четкое изображение, которое затем заменяется чувствительной пластинкой или пленкой. Сенсибилизированная поверхность пластины или пленки содержит соль серебра, которая изменяется под действием света. После того, как пластинка была "подвергнута" воздействию света, ее "проявляют" с помощью химических веществ, образующих *негативное* изображение. С "негатива" с помощью сенсибилизированной бумаги могут быть сняты "позитивные" отпечатки, которые напоминают сфотографированный объект.

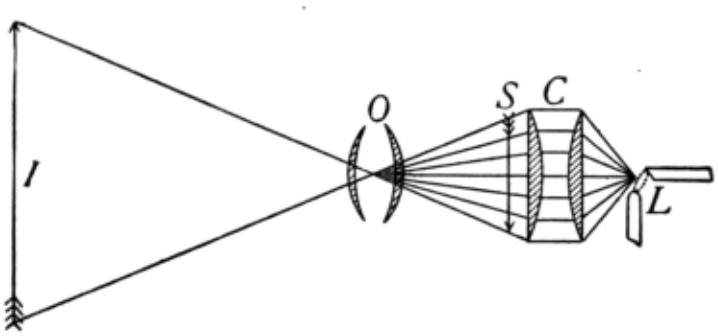


FIG. 395.—Diagram of the projecting lantern.

Рис. 395.—Схема выступающего фонаря.

394. В проецирующем фонаре (см. рис. 395) используется сильный источник света в виде электрической дуговой лампы *L*, чтобы сильно освещать прозрачную картинку или *слайд с фонарем*, *S*, реальное изображение (*I*) которой формируется на большом экране. Две большие плосковыпуклые линзы (*C*), называемые конденсирующими линзами, помещаются рядом с лампой, чтобы сконцентрировать свет на "предметном стекле" *S*. Выпуклая линза, формирующая изображение, называется "объективом" (*O*).

395. Составной микроскоп состоит из двух линз. Одна, называемая *объективом*, располагается рядом с рассматриваемым объектом. Этот объектив имеет короткое фокусное расстояние, обычно менее сантиметра. Он формирует *реальное изображение* объекта. *A-B*. Другая линза, *окуляр*, формирует виртуальное изображение этого реального изображения. *A-B*. (См. рис. 396.)

396. Телескоп состоит из двух линз, окуляра и объектива. Как и в составном микроскопе, объектив телескопа формирует реальное изображение удаленного объекта, а окуляр формирует увеличенное виртуальное изображение реального изображения. Наблюдатель видит именно виртуальное изображение. (См. рис. 397.) Для сбора достаточного количества света от далеких звезд объектив делают большим, иногда 50 дюймов. в диаметре.

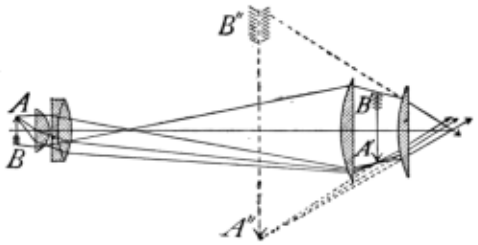


FIG. 396.—Formation of an image by a microscope. *A–B* is the object. *B′–A′* the real image formed by the "objective." *B″–A″* is the virtual image formed by the eyepiece. The eye sees the virtual image.

Рис. 396.—Формирование изображения с помощью микроскопа. *A-B* - объект. *B-A* реальный образ, сформированный "объективом". *B-A* - виртуальное изображение, формируемое окуляром. Глаз видит виртуальное изображение.

Длина трубы телескопа зависит от фокусного расстояния объектива, поскольку расстояние между двумя линзами должно равняться *сумме* их фокусных расстояний.

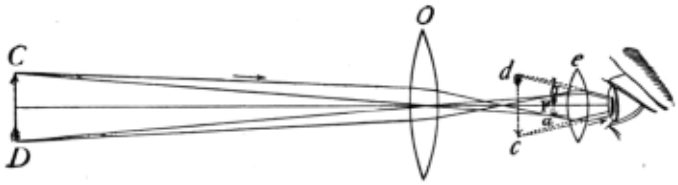


FIG. 397.—Formation of an image by a telescope. *b–a* is the real image; *d–c* is the virtual image seen by the observer.

Рис. 397.— Формирование изображения с помощью телескопа. *b-a* - реальное изображение; *d-c* - виртуальное изображение, видимое наблюдателем.

397. Театральный бинокль состоит из выпуклой линзы в качестве объектива и *вогнутой* линзы в качестве окуляра. Первая имеет тенденцию формировать реальное изображение, но вторая расходит лучи до того, как может быть сформировано реальное изображение, при этом действие двух линз создает увеличенное виртуальное изображение (как на рис. 398), которое просматривается тем, кто использует стекло. Компактные размеры театрального бинокля обусловлены тем фактом, что расстояние между двумя линзами равно *разнице* фокусных расстояний.

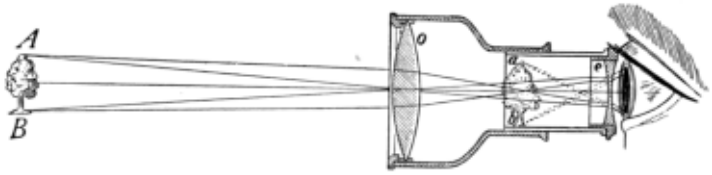


FIG. 398.—Formation of an image by an opera-glass. *a–b* is the virtual image.

Рис. 398.— Формирование изображения с помощью театрального бинокля. *a-b* - это виртуальное изображение.

FIG. 399.—Diagram of the Zies binocular or prism field glass.

Рис. 399.—Схема бинокулярного или призменного бинокля Zeiss.

398. Призматический полевой бинокль.—Этот инструмент. вошел в употребление в последние годы. Он обладает таким же широким полем зрения, как подзорная труба, но при этом так же компактен, как театральный бинокль. Эта компактная форма обеспечивается за счет прохождения света взад и вперед между двумя прямоугольными призмами (как показано на рис. 399). Это устройство позволяет использовать объектив с фокусным расстоянием, в три раза превышающим фокусное расстояние трубки, обеспечивая гораздо большую увеличительную силу, чем в противном случае обладал бы короткий инструмент. Дополнительное преимущество обеспечивается полным отражением от двух призм, одна из

которых расположена таким образом, что меняет изображение справа налево, а другая инвертирует его, так что при просмотре в окуляр оно находится в нужном положении.

Важные темы

1. Глаз: части, формирование образа, вид, как, где.

2. Дефекты зрения, способы устранения. Угол обзора.

3. Простой микроскоп, камера; изображения, вид, способ формирования.

4. Составной микроскоп, телескоп и театральный бинокль; изображения, действие каждой линзы.

Упражнения

1. Назовите три прибора, в которых линзы формируют виртуальные изображения, и три, в которых формируются *реальные* изображения.

2. В каком направлении, по-видимому, согнуто весло в воде? Объясните с помощью диаграммы.

3. Какими оптическими приборами вы пользовались? Является ли *видимый* образ, формируемый каждым из них, *реальным* или *виртуальным*?

4. Фокусное расстояние объектива копировальной камеры составляет 14 дюймов. Где должен быть размещен рисунок, чтобы изображение того же размера могло быть сформировано на матовом стеклянном экране? Каким должно быть расстояние экрана от объектива?

5. Назовите два метода, с помощью которых можно определить фокусные расстояния объектива фотокамеры?

6. Критический угол для воды составляет 48-1 / 2 градуса. Покажите на диаграмме, какую часть неба может видеть дайвер, смотрящий вверх сквозь воду.

7. Чем вызвана близорукость? Как ее исправить? Проиллюстрируйте диаграммой.

8. Как глаз приспосабливается (фокусируется) по мере постепенного приближения к нему объекта?

9. Объясните, почему простой микроскоп помогает рассмотреть части цветка или насекомого.

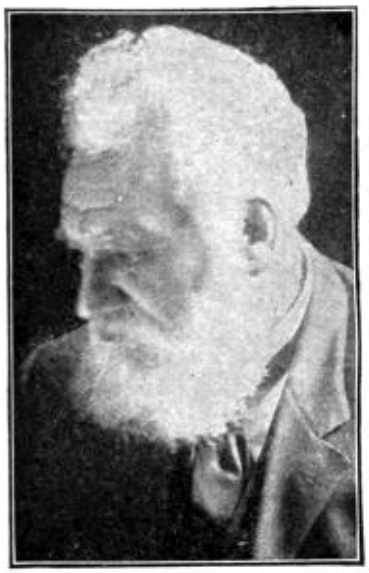
10. Почему людям с хорошим зрением в молодости требуются очки, когда они стареют?

(7) Цвет и спектры

GUGLIELMO MARCONI
"Copyright by Underwood & Underwood, N. Y."

ГУЛЬЕЛЬМО МАРКОНИ

"Авторские права Underwood & Underwood, N. Y."
Гульельмо Маркони (Италия). Изобретатель беспроволочного телеграфа.



ALEXANDER GRAHAM BELL
"Copyright by Underwood & Underwood, N. Y."

АЛЕКСАНДР ГРЭМ БЕЛЛ

"Авторские права Underwood & Underwood, Нью-Йорк"
Александр Грэм Белл, Вашингтон, округ Колумбия, Изобретатель телефона.

399. Цвет.— Большая часть удовольствия, получаемого при созерцании красивых предметов, обусловлена *цветом*, который они демонстрируют. Голубое небо, зеленая трава, разнообразные оттенки цветов и радуги - все это вызывает наше восхищение. Изучение цвета естественно начинается с получения *спектра*, многоцветного изображения на экране, получаемого при пропускании луча света через призму. Спектр лучше всего виден, когда

свет проникает через узкую щель (рис. 400). Спектр был впервые получен сэром Исааком Ньютоном в 1675 году только что описанным способом. Названия, обычно присваиваемые наиболее заметным цветам спектра, - фиолетовый, индиго, синий, зеленый, желтый, оранжевый и красный. Инициалы этих названий в сочетании пишутся как *вибгьер*, слово, не имеющее значения, за исключением того, что помогает запомнить порядок расположения цветов в спектре. Если свет, прошедший через призму, пропускается через вторую призму, расположенную в обратном положении (см. Рис. 401), то свет, проходящий через обе призмы, оказывается белым. Этот эксперимент *показывает, что белый свет состоит из света всех цветов*.

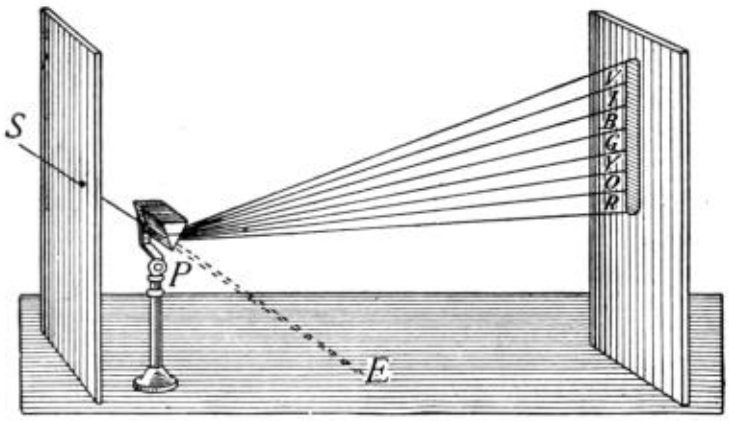


FIG. 400.—Formation of the spectrum by a prism.

Рис. 400.—Формирование спектра призмой.

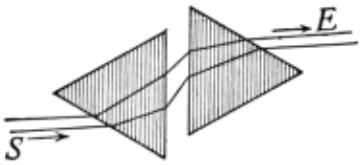


FIG. 401.—The colors of the spectrum recombine to form white light.

Рис. 401.— Цвета спектра рекомбинируют, образуя белый свет.

400. Дисперсия.—Разделение цветов призмой называется дисперсией. В ходе экспериментов по поиску причины рассеивания было выяснено, что огни разных цветов имеют разную длину волны. Следовательно, цвет в свете аналогичен высоте звука. Мы слышим на протяжении многих октав, но видим примерно на одну октаву. То есть самые короткие видимые волны фиолетового света имеют длину около 0,000038 см, в то время как самые длинные видимые красные лучи составляют 0,000076 см, или самые длинные видимые световые волны примерно в два раза длиннее самых коротких видимых. Из результатов экспериментов по рассеиванию следует, что *световые волны разной длины преломляются по-разному*. Это приводит к тому, что изображения, сформированные путем преломления через простые стеклянные линзы, становятся окрашенными и частично теряют четкость очертаний, поскольку фиолетовый свет фокусируется раньше, чем красный. (См. рис. 402.) Это серьезно влияет на ценность таких линз для оптических целей. К счастью, обнаружено, что *разные виды стекла имеют разную скорость рассеивания при одинаковой величине преломления*.

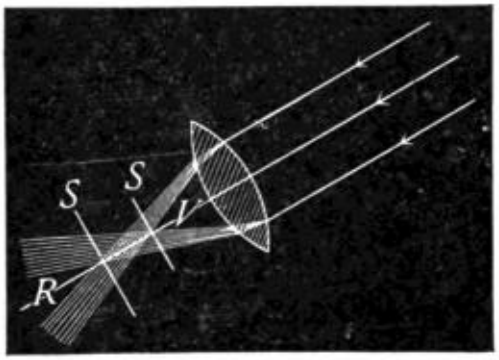


FIG. 402.—Violet light comes to a focus sooner than red.

Рис. 402.—Фиолетовый свет попадает в фокус раньше, чем красный.

401. Ахроматическая линза.—Наличие этих различных видов стекла делает возможной комбинацию линз, в которых дисперсия полностью устраняется с потерей лишь примерно половины преломления. Такая комбинация показана на рис. 403. Она называется *ахроматической линзой*, поскольку изображения, формируемые ею, не цветные, а белые (*a* = без, *chroma* = цветной). *Ахроматическая линза состоит из двойной выпуклой линзы из корончатого стекла в сочетании с плоско-вогнутой линзой из кремневого стекла.* Ахроматические линзы используются во всех высококачественных оптических приборах, таких как телескопы и микроскопы. Цветные изображения, которые иногда можно увидеть в дешевых театральных биноклях, показывают результат отказа от использования ахроматических линз.

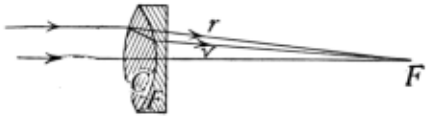


FIG. 403.—An achromatic lens. *C* is of crown glass; *F*, of flint glass.

Рис. 403.- Ахроматическая линза. *C* - из корончатого стекла; *F*- из кремневого стекла.

402. Цвет тел.— Спроецируйте спектр солнечного света на белую поверхность в затемненной комнате.

Теперь разместите в разных частях спектра объекты различных цветов. Красные объекты будут ярко-красными, когда находятся на красном конце спектра, но выглядят черными на синем конце, в то время как синие объекты кажутся синими только на синем конце.

Эти факты указывают на то, что цвет объекта зависит от двух факторов: (а) *падающего на него света и* (б) *света, который он посылает в глаз*. *Черная* поверхность поглощает весь цвет, в то время как *белая* поверхность отражает все длины волн, видимые глазу, в той же пропорции, в какой они попадают к нему. Белый объект будет казаться красным при красном освещении и синим при синем, поскольку он отражает и то, и другое. *Цветной* объект отражает свет своего собственного цвета, но поглощает все остальные. Таким образом, цвет тела обусловлен светом, который оно не поглощает, но который исходит от него к глазу.

403. Цвет прозрачных предметов, таких как цветное стекло, обусловлен присутствием *красителя* или *пигмента*, содержащегося в теле. Этот пигмент поглощает часть света, а проходящая часть придает цвет. Это можно продемонстрировать, подержав лист цветного стекла в луче света до или после того, как он пройдет через призму. Некоторые цвета, такие как красный, могут оказаться почти *чистыми*, пропускающими только красный, в то время

как зеленое стекло часто пропускает в дополнение к зеленому немного желтого и красного света.

404. Дополнительные цвета.—Если две призмы расположить в обратном положении рядом друг с другом (см. рис. 401), то луч света, рассеиваемый одной из них, другой преобразуется в белый свет. Если теперь карту зажать между двумя призмами так, чтобы отсечь часть цветного света, скажем, красного, то обнаружится, что оставшийся свет образует *зеленовато-голубой*. Если карту вынуть, индикатор снова станет *белым*. То есть красный и *павлиний* свет вместе образуют белый. Любые два цвета, которые вместе образуют белый свет, называются *взаимодополняющими*. Другими дополнительными цветами являются светло-желтый и синий, зеленый и малиновый, оранжевый и зеленовато-голубой, фиолетовый и зеленовато-желтый. Мы не должны путать сочетание цветов (света) и сочетание *пигментов*, причем последние состоят из тел, поглощающих свет. Желтый пигмент поглощает все, кроме желтого и немного зеленого, в то время как синий пигмент поглощает все, кроме синего и немного зеленого. Смешивание этих двух пигментов приводит к поглощению всех цветов, кроме *зеленого*. Смешанная синяя и желтая *краски* дают *зеленый* цвет, в то время как синий и желтый *свет* дают белый.

405. Солнечный спектр, как называют спектр солнечного света, можно наблюдать в *радуге*. Последний создается за счет рассеивания света сферическими каплями дождя. Его образование можно имитировать, направив небольшой круговой луч света через экран на круглую стеклянную колбу, наполненную водой. (См. рис. 404.) Свет проходит через воду и рассеивается при входе и выходе, создавая цвет на экране при *R*-*V*. Направление света внутри капли показано на рис. 405. Фиолетовый луч приближается к глазу почти горизонтально и, следовательно, находится ниже красного, когда мы смотрим на радугу.

406. Линии Фраунгофера.—Некоторые из наиболее важных особенностей солнечного спектра не видны в радуге или в полосе света, обычно наблюдаемой на экране. При использовании узкой щели и выпуклой линзы для тщательной фокусировки щели на белом экране видно, что солнечный спектр пересекают множество *темных* линий. Они называются линиями Фраунгофера в честь немецкого ученого, который в 1814 году впервые точно определил *их* положение. Два эксперимента *со спектроскопом* помогут прояснить значение линий Фраунгофера.

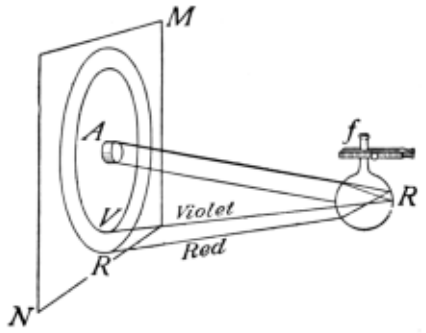


FIG. 404.—A rainbow formed by a beam of light striking a flask of water.

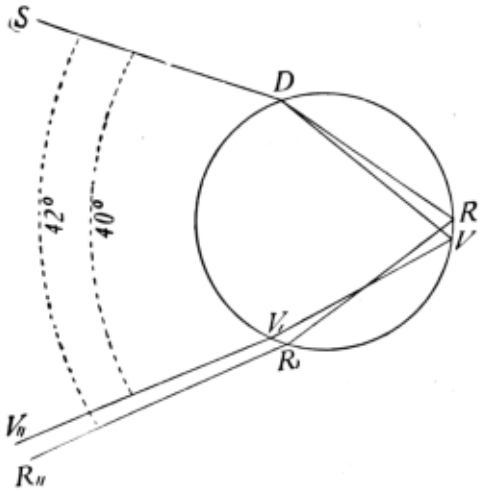


FIG. 405.—The course of a beam of light within a drop of water.

Рис. 404.— Радуга, образованная лучом света, падающим на колбу с водой.
Рис. 405.— Движение луча света внутри капли воды.

407. Спектроскоп и его применение.—Спектроскоп (рис. 406) - это инструмент для наблюдения спектров. Он состоит из призмы, щели и выпуклой линзы *T* для точной фокусировки изображения щели на экране (рис. 407), где спектр наблюдается через окуляр *E*.

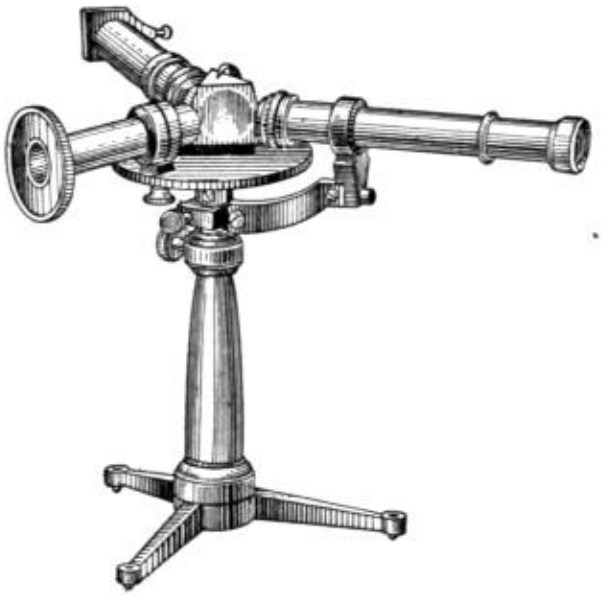


FIG. 406.—The spectroscope.

Рис. 406.—спектроскоп.

(A) Перед щелью помещают пламя Бунзена и помещают в пламя Бунзена нагретую платиновую проволоку, смоченную в обычной соли или каком-либо соединении натрия; последнее становится желтым, и на экране спектроскопа наблюдается ярко-желтая линия. Другие вещества, такие как соли бария и стронция, при нагревании до накала в пламени Бунзена дают характерные яркие линии. Фактически было обнаружено, что каждый *элемент* имеет свой собственный характерный набор цветных линий. Этот факт используется в *спектральном анализе*, с помощью которого присутствие определенных элементов в веществе может быть определенно доказано по появлению его определенных линий в спектре.

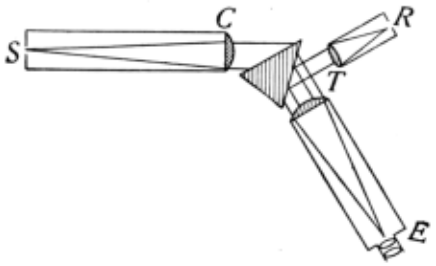


FIG. 407.—Diagram of a spectroscope.

Рис. 407.—Схема спектроскопа.

FIG. 408.—The bright line spectrum of iron and its coincidences with some of the dark lines of the solar spectrum.

Рис. 408.— Спектр светлых линий железа и их совпадения с некоторыми темными линиями солнечного спектра.

(B) Если свет, например, дуговой лампы направить на газовое пламя, содержащее пары *натрия*, в*спектре*появитсятемная линия — в том самом месте, в котором появилась желтая линия натрия. Похоже, что пары натрия удаляют из белого света волны той же длины, что и он сам. Предполагается, что это поглощение происходит из-за симпатической вибрации; точно так же, как камертон приводится в вибрацию волнами другой вилки в унисон с ним, одновременно поглощая волновую энергию, так и в газовом пламени частицы натрия поглощают волновое движение с той же частотой колебаний, что и излучаемые ими. Считается, что тот факт, что спектр солнечного света содержит огромное количество темных линий, указывает на то, что солнце окружено облаками, образовавшимися в результате испарения различных веществ в самом солнце. Сравнивая темные линии солнечного спектра со спектрами *ярких линий* различных веществ, обнаруженных на земле, обнаруживается такое точное соответствие линий, что присутствие паров этих веществ около солнца считается доказанным. (Смотрите рис. 408, который показывает точное соответствие между светлыми линиями спектра паров железа и темными линиями, появляющимися в части солнечного спектра.) Спектры звезд также содержат определенные темные линии. Таким образом, присутствие соответствующих веществ в далеких звездах считается определенным.

408. Теория цветового зрения.—Было обнаружено, что путем сочетания света *трех цветов красного*, *зеленого* и *сине-фиолетового*, в надлежащих пропорциях можно получить любой цветовой эффект, даже белый. Это приводит к выводу, что в сетчатке глаза находятся три различных вида или набора чувствительных нервных окончаний, чувствительных соответственно к красному, зеленому и синему свету. Эта идея подтверждается некоторыми фактами дальтонизма. Таким образом, у некоторых людей нет ощущения *красного*, этот цвет невозможно отличить от зеленого. Другие не различают зеленый или синий цвета. Предполагается, что у дальтоников отсутствует один из наборов нервных окончаний, чувствительных к одному из этих трех цветов.

409. Трехцветная печать.—Поскольку все цвета могут быть получены путем смешивания трех цветов: светло-красного, зеленого и сине-фиолетового, они называются *тремя основными цветами*. Так называемые первичные пигменты или краски являются просто дополнениями трех основных цветов. Они, по порядку, темно-синие, малиновые и светло-желтые. При смешивании эти три пигмента дают черный цвет, поскольку в сочетании они поглощают все виды видимого света. Процесс трехцветной печати, который в настоящее время широко используется при печати цветных картинок для книг, календарей и т.д., заключается в нанесении на белую бумагу трех цветных оттисков, используя последовательно три основных пигмента (желтый, малиновый и синий) с пластин, приготовленных следующим образом:

Делаются три фотографии объекта заданного цвета, каждая через отдельный лист желатина, называемый фильтром, окрашенный в цвет одного из основных цветов. На этих фотографиях полутоновые блоки выполнены обычным способом. Цветное изображение создается путем тщательного наложения оттисков от этих блоков, используя в каждом случае чернила, цвет которых дополняет "фильтр", через который было сделано исходное изображение. Иллюстрация этого процесса приведена на табличке на титульном листе этой книги.

Важные темы

1. Цвет, обусловленный длиной волны; рассеивание призмой, сферой в радуге, дополнительными цветами, цветом непрозрачных и прозрачных тел.

2. Спектры, солнечные; формирование радуги; спектры ярких линий, как сформированы, как используются; спектры темных линий, как сформированы, как используются.

3. Теория цветового зрения. Трехцветная печать.

Упражнения

1. Как выглядит белый цветок, если смотреть на него через синее стекло? Через красное стекло? Через красное и синее стекло одновременно?

2. Почему красная лента кажется черной при синем освещении и красной при красном?

3. В какую часть неба вы должны посмотреть, чтобы увидеть радугу утром? Днем? Объясните.

4. Как бы вы расположили две одинаковые призмы так, чтобы получить двойное отклонение, создаваемое одной из них?

5. От каких двух факторов зависит цвет объекта?

6. Какой спектр должен давать лунный свет? Почему?

7. Смесь зеленого и красного света создает ощущение желтого. Можете ли вы подсказать, почему смесь синего и желтого света создает ощущение белого?

(8) Природа света, интерференция, поляризация

410. Корпускулярная теория.Теория природы света, которая была наиболее общепринятой примерно до 1800 года, утверждала, что свет состоит из потоков мельчайших частиц, называемых корпускулами, движущихся с огромными скоростями. Эта *корпускулярная теория* находилась в согласии с фактами отражения и *прямолинейного* движения света, но была заброшена после открытия *интерференции света*, поскольку она не могла объяснить последнее явление.

411. Волновая теория света.Теория о том, что *свет — это форма волнового движения,* была впервые выдвинута голландским физиком Гюйгенсом в семнадцатом веке. С самого начала этой теории противостояли, поскольку (А) не было известно, что *не существовало среды*, которая передавала бы волновое движение в пространстве, например, от солнца к земле, и (Б) *прямолинейное движение* света *отличалось* от *любых* других, таких как волновые движения воды или звуковых волн, которые способны огибать углы. В ответ на первое возражение Гюйгенс предположил наличие среды, которую он назвал *эфиром*, в то время как второе возражение было полностью преодолено в течение прошлого столетия открытием, что *свет может отклоняться от прямой линии*. Теперь известно, что *чрезмерная короткость* световых волн является причиной его прямолинейного движения. Кроме того, обнаружено, что длинные эфирные волны, такие как волны беспроволочного телеграфа, огибают препятствия подобно волнам воды или звука.

FIG. 409.—Two plates pressed together by a screw clamp.

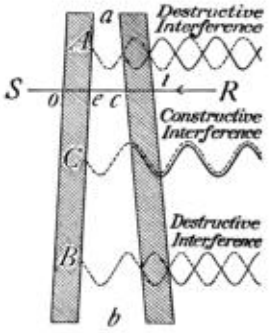


FIG. 410.—Illustrating the interference of light by a thin film of air.

Рис. 409.— Две пластины, прижатые друг к другу винтовым зажимом.
Рис. 410.— Иллюстрация интерференции света тонкой пленкой воздуха.

412. Интерференция света является одним из явлений, для которых волновая теория предлагает единственное удовлетворительное объяснение. Интерференцию света можно показать, взяв два куска листового стекла и с силой прижав их друг к другу винтовым зажимом, как показано на рис. 409. После достижения определенного давления вокруг сжатого пятна при наблюдении за светом, *отраженным* от верхней поверхности стекла, появятся цветные кольца. Если на прибор падает свет одного цвета, например, пропускаемый красным стеклом, кольца видны как чередующиеся красные и темные полосы. Объяснение этого явления в соответствии с волновой теорией заключается в следующем: два листа стекла, хотя и плотно прижаты друг к другу, разделены в большинстве мест тонким воздушным клином (см. рис. 410), который в преувеличенной форме представляет изгиб пластин при нажатии зажимом. Несколько волн изображены исходящими справа и входящими в стекло. Теперь волна, движущаяся от *R* к пластинам, частично отражает свой свет от каждой стеклянной поверхности. Рассмотрим две части волны, отраженные от каждой из поверхностей между пластинами, *т.е.* от двух поверхностей воздушного клина. Если часть волны, отраженная от второй поверхности воздушного клина, объединяется с частью волны, отраженной от первой поверхности, в *той же фазе,* что и при *C*, две отраженные волны усиливают друг друга. В то время как, если две отраженные части волны встречаются в противоположных фазах, как в точках *A* и *B*, происходит уменьшение или полное исчезновение света. Это называется *интерференцией*. Если используется свет одной длины волны, например красный свет, области усиления и интерференции показаны красными и темными кольцами, в то время как при использовании белого света кольцо, в котором интерферирует красный свет, приобретает дополнительный цвет - зеленовато-синий. Там, где происходит интерференция зеленовато-синего, обнаруживается красный и т.д. Многие явления обусловлены интерференцией, такой как (А) цвет тонких пленок масла на воде, когда части света, отраженные от двух поверхностей масляной пленки, интерферируют, что приводит к появлению цвета; (Б) цвет мыльных пузырей. При первом формировании пленки мыльных пузырей недостаточно тонкие, чтобы хорошо показывать интерференцию, но по мере увеличения размера пузырьков или их истончения при стоянии создаются условия для интерференции, и по мере того, как пленка становится тоньше, можно заметить регулярную последовательность цветов.

413. Различия между светом и звуком.—Среди важных различий между светом и звуком, которые были рассмотрены, следующие: первые представляют собой (а) *волны* в эфире, (б) *очень короткой длины волны*, и (в) их *движение происходит по прямым линиям*. Другое отличие (d) заключается в *режиме вибрации*.

Звуковые волны являются *продольными, в то время как световые волны являются поперечными*. Световые волны состоят из колебаний эфира под прямым углом к линии движения. Чтобы проиллюстрировать рассуждения, которые привели к такому выводу, предположим, что веревка пропущена через две вертикальные решетки. (См. рис. 411, 1.) Если вручную придать веревке *поперечную* вибрацию, создаваемые волны будут легко проходить к решеткам *P* и *Q* и продолжаться в части, выходящей за пределы *Q*. Если, однако, *Q* находится под прямым углом к *P*, за пределами *Q*движения обнаружено не будет. Теперь, если бы вместо троса была натянута спиральная пружина с продольными колебаниями, очевидно, что пересечение двух решеток не создало бы препятствий для распространения вибрации. Другими словами, скрещенные решетки не препятствуют продольным колебаниям, в то время как они могут полностью гасить поперечные колебания.

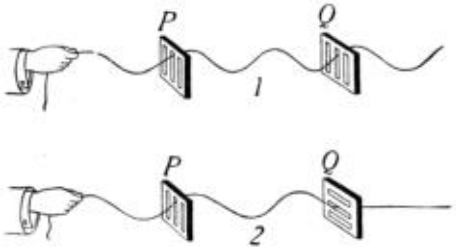


FIG. 411.—Transverse waves will pass through both gratings in (1) where the openings in the two gratings are at right angles. The waves passing *P* are stopped by *Q* (2).

Рис. 411.—Поперечные волны будут проходить через обе решетки в (1), где отверстия в двух решетках расположены под прямым углом. Волны, проходящие через *P*, останавливаются *Q* (2).**Рис. 411.—Поперечные волны будут проходить через обе решетки в (1), где отверстия в двух решетках расположены под прямым углом. Волны, проходящие через *P*, останавливаются *Q* (2).**

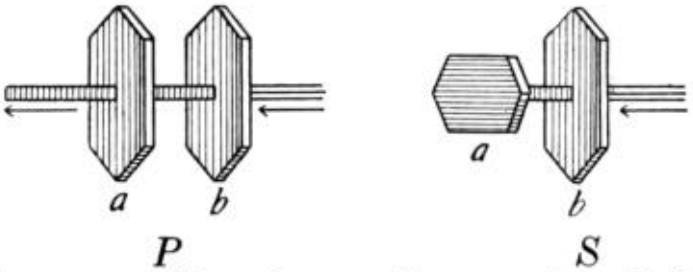


FIG. 412.—Effect of tourmaline crystals on light.

Рис. 412.— Влияние кристаллов турмалина на свет.

414. Поляризация света.—Обнаружено, что два кристалла турмалина ведут себя по отношению к свету точно так же, как две решетки ведут себя по отношению к поперечным волнам веревки. Таким образом, если небольшое отверстие в экране закрыть *кристаллом*турмалина, через него проникает свет, но его интенсивность немного уменьшается. Если второй кристалл поместить поверх первого так, чтобы две оси были в том же направлении, что и на рис. 412*P*, свет проходит через второй кристалл так же свободно, как и через первый, но если кристаллы скрещены (рис. 412*S*), свет не проходит через второй кристалл. Этот эксперимент показывает, что свет, прошедший через один кристалл турмалина, пройдет через другой только тогда, когда последний удерживается в определенном положении, следовательно, считается, что кристалл турмалина способен пропускать свет, вибрирующий в одной определенной плоскости. Прямой вывод из этого состоит в том, что *световые волны* являются *скорее поперечными, чем продольными*. Только что описанный эксперимент иллюстрирует то, что называется *поляризацией света*. Луч,

который после прохождения через *a* (рис. 412) не может пройти через *b*, если две оси пересекаются, называется *поляризованным лучом*. Следовательно, вывод о поперечности световых волн основан на явлении поляризации света. Впервые это было открыто Гюйгенсом в 1690 году.

Важные темы

1. Интерференция света: доказательства, рассуждения, иллюстрации.

2. Поляризация света: доказательства, соответствующие рассуждения.

3. Природа света, различия между звуком и освещением.

Упражнения

1. Составьте список различий между звуком и светом и кратко изложите доказательства, на которых основано знание этих различий.

2. Почему толщина пленки, которая создает помехи для красного света, будет отличаться от толщины пленки, создающей помехи для зеленого или синего?

3. Используя формулу $n = v/l$, вычислите частоту колебаний фиолетового света, если длина его волны равна 0,00004 см.

4. Объясните, как факт поляризации влияет на волновую теорию света.

5. Покажите, как можно, сравнивая спектр солнца со спектром звезды, определить, приближается звезда к земле или удаляется от нее.

План обзора: Легкий

Свет; скорость, источник, среда.

Движение по прямой; тень, умбра, полутень, затмение, изображение.

Фотометрия; Закон интенсивности, мощность свечи, фут-свеча.

Зеркала; Закон отражения; изображение—реальное, виртуальное; плоское, изогнутое, параболическое, зеркала.

Преломление; причина и следствия; пластина, призма, линза; полное отражение.

Линзы; шесть форм, главный фокус, центр, уравнение линзы, $1/F = 1/D_o + 1/D_i$.

Оптические инструменты; глаз, дефекты и коррекция, фотоаппарат, микроскоп и т.д.

Спектры; 3 вида, дисперсия, создание цветовых эффектов, спектроскоп, применение.

Природа света; волновая теория, интерференция, поляризация, значение.

ГЛАВА XVII

НЕВИДИМЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

(1) Электрические волны и радиоактивность

415. Колебательный характер искры из Лейденской банки.—При изучении звука (статья 339) в качестве иллюстрации резонанса была приведена симпатическая вибрация двух камертонов с одинаковой частотой колебаний. Условия получения *электрического резонанса* с использованием двух лейденских банок приведены в следующем эксперименте.

Соедините два слоя лейденской банки (рис. 413) в проволочную петлю L, при этом скользящая перемычка M расположена так, чтобы длину петли можно было изменять по желанию. Также приложите полоску фольги к внутреннему покрытию и поднесите ее примерно на миллиметр к внешнему покрытию, как указано на G. Теперь присоедините внешнее покрытие другой точно такой же банки A к проволочной петле фиксированной длины, конец петли отделите от ручки, соединенной с внутренним покрытием, на небольшом расстоянии на P. Поставьте банки рядом друг с другом так, чтобы проволочные петли были параллельны, и подсоедините покрытия A к выводам статической машины или индукционной катушки. При каждом разряде между ручками в точке P в другой банке в точке G будет появляться искра, если перемычка M отрегулирована таким образом, чтобы площади двух петель были точно равны. Когда проволоку M перемещают так, чтобы площади двух петель были совершенно неодинаковыми, искра в точке G исчезает.

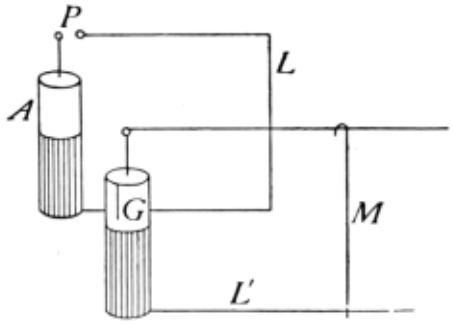


Fig. 413.

Рис. 413.

Только что описанный эксперимент показывает, что две электрические цепи можно *настроить*, отрегулировав их длину, точно так же, как две камертонные вилки можно сделать симпатичными, отрегулировав их длину. Этот факт указывает на то, что разряд лейденской банки является *колебательным*, поскольку резонанс, очевидно, может быть обеспечен только между телами, имеющими естественные периоды вибрации. Этот же факт подтверждается и исследованием содержимого лейденской банки, как оно выглядит при взгляде в быстро вращающееся зеркало. (См. рис. 414.) Отражение в зеркале показывает, что разряд состоит из нескольких искр, часто дюжины или более, которые вибрируют взад-вперед, пока, наконец, не гаснут. Время одной вибрации варьируется от одной миллионной до ста миллионных долей секунды, в зависимости от расстояния между разгрузочными шариками и размера банок.

FIG. 414.—Photograph of the oscillatory discharge of a Leyden jar.

Рис. 414.— Фотография колебательного разряда лейденской банки.

Разряд лейденской банки или другого конденсатора создает эфирные волны, скорость которых равна скорости света. Генрих Герц в Германии впервые доказал это в 1888 году. Эти волны теперь известны как волны Герца. Их длина варьируется от 3 см. до нескольких миль, в зависимости от размера и условий разрядного контура.

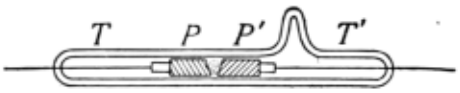


FIG. 415.—A coherer.

Рис. 415.—Когерер.

416. Когерер.—Когерер - это устройство для обнаружения электрических волн. Он состоит из стеклянной трубки с металлическими опилками, неплотно упакованными между двумя металлическими заглушками, которые плотно прилегают к трубке. (См. рис. 415.) Эти опилки обладают *высоким* сопротивлением прохождению электрического тока, но когда электрические волны проходят через опилки, они *связываются* и пропускают слабый ток. Этот ток может быть достаточно сильным, чтобы привести в действие реле, подключенное к эхолоту или звонку, которые подают звуковые сигналы. Если постучать по трубке, опилки будут потревожены, и сопротивление снова станет настолько высоким, что ток не сможет пройти через нее.

417. Беспроволочный телеграф.—В 1894 году Маркони, тогда двадцатилетний молодой человек, проводя некоторые эксперименты с электрическими разрядами, обнаружил, что когерер улавливает электрические волны на значительном расстоянии от их источника и что с помощью телеграфного ключа "точки и тире" телеграфного кода могут быть воспроизведены эхолотом, присоединенным к реле. В настоящее время когерер используется в основном в лабораторном оборудовании, поскольку для коммерческой работы теперь доступны гораздо более чувствительные детекторы. Основные части современного беспроволочного телеграфного аппарата, используемого на многих коммерческих станциях, показаны на рис. 416.

Переменный ток напряжением 110 вольт подается в первичную обмотку, *P*, трансформатора, вторичная обмотка, *S* которого создает потенциал от 5000 до 20 000 вольт. Вторичная обмотка заряжает конденсатор до тех пор, пока его потенциал не станет достаточно высоким, чтобы вызвать разряд через искровой промежуток, *SG*. Этот разряд является колебательным, частота которого составляет около миллиона в секунду, в зависимости от емкости конденсатора и индуктивности контура.

Эти колебания проходят через первичную обмотку трансформатора колебаний, вызывая во вторичной обмотке электрические колебания, которые распространяются взад и вперед по антеннам или проводам антенны, *A*. Эти колебания создают "беспроводные волны". Возникновение этих волн объясняется следующим образом: электрический ток в проводе создает магнитное поле, распространяющееся по проводнику; когда ток прекращается, поле

возвращается к проводнику и исчезает. Колебания в антеннах, однако, имеют такую высокую частоту, порядка миллиона в секунду, что когда один электрический разряд создает магнитное поле, обратный разряд, сразу следующий за ним, создает противоположное магнитное поле, прежде чем первое поле сможет вернуться к проводу. В этих условиях создается последовательность противоположно направленных магнитных полей, которые исходят от антенн со скоростью света и вызывают электрические колебания во всех проводниках, перерезанных ими.

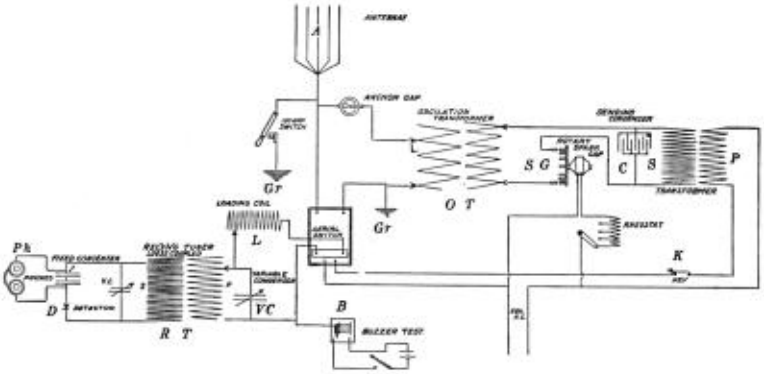


Fig. 416.—Diagram of a commercial wireless telegraph apparatus.

Рис. 416.—Схема коммерческого беспроводного телеграфного аппарата.

В то время как электрические волны излучаются антенной во всех направлениях, *длина* установленных волн примерно в четыре раза превышает общую длину проводов антенны и "подводящего" соединения с трансформатором колебаний.

Электрические волны вызывают эффективные электрические колебания в антенне приемной станции даже на расстояниях в сотни миль, при условии, что приемный трансформатор, *RT*, "настроен" в резонанс с передающим устройством посредством регулировки переменного конденсатора, *VC*, и катушки нагрузки, *L*. *Детектором* этих колебаний в приемном трансформаторе является просто кристалл кремния или карборунда, *D*, подключенный последовательно к двум телефонным приемникам, *Ph*. Кристаллический детектор пропускает электрические колебания только в одном направлении. Если бы кристалл не обладал этим свойством, телефон нельзя было бы использовать в качестве приемника, поскольку он не может реагировать на высокочастотные колебания. Пока одна искра проходит при *SG*, прерывистый ток проходит через приемник в одном направлении. Поскольку при *SG*, когда клавиша *K* закрыта, каждую секунду сгорает от 300 до 1200 искр, оператор на *Ph* слышит музыкальную ноту этой частоты до тех пор, пока нажата *K*. Короткие и длинные гудки в этом случае соответствуют точкам и тире обычной телеграфии. Для поддержания *равномерного тона часто используется вращающийся разрядник*, как показано на рисунке. Это обеспечивает звук фиксированной высоты, обеспечивая равномерную скорость образования искр.

В беспроволочной телеграфии обычно используется*континентальный* код сигналов вместо *азбуки Морзе*, поскольку в первом используются только *точки* и *тире*. В последнем коде, помимо точек и тире, используются *пробелы*, которые иногда приводят к путанице при приеме беспроводных сообщений. Правительство Соединенных Штатов приняло регламент *Международного радиоконгресса*, который предписывает коммерческим компаниям использовать длины волн от 300 до 600 или выше 1600 метров. Любители могут использовать длину волны менее 200 метров и никакую другую, в то время как

правительство оставляет за собой право использовать длину волны от 600 до 1600 метров. Континентальный телеграфный код см. на стр. 459.

418. Выбросы в разреженном воздухе.—На рис. 417 представлена стеклянная трубка длиной 60 или более сантиметров, присоединенная к воздушному насосу. Подсоедините концы трубки к клеммам статической машины или индукционной катушки, *a*-*b*. Сначала между *a* и *f*не будет проходить искр из-за высокого сопротивления воздуха в трубке. Однако после выпуска воздуха из трубки разряд начинает проходить через нее, а не между *a* и *b*. Это показывает, что электрический разряд будет легче проходить через частичный вакуум, чем через воздух при обычном давлении. По мере того как воздух становится все более и более разряженным, характер выделений меняется. Сначала это слабая искра, постепенно меняющаяся, пока не превратится в свечение, распространяющееся от одного терминала к другому и почти заполняющее трубку.

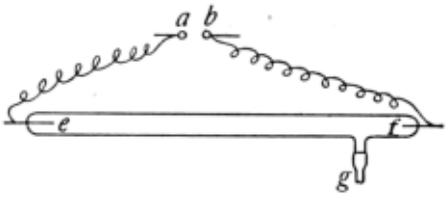


FIG. 417.—An Aurora tube.

Рис. 417.—Трубка полярного сияния.

Трубки Гейслера - это трубки, подобные указанным выше. Обычно они изготавливаются из различных видов стекла, скрученных в различные формы для получения красивых цветовых эффектов. *Северное сияние* или северное сияние, как предполагается, представляет собой электрические разряды в разреженном воздухе на высоте от 60 до 100 миль над магнитными полюсами Земли. (См. рис. 418.)

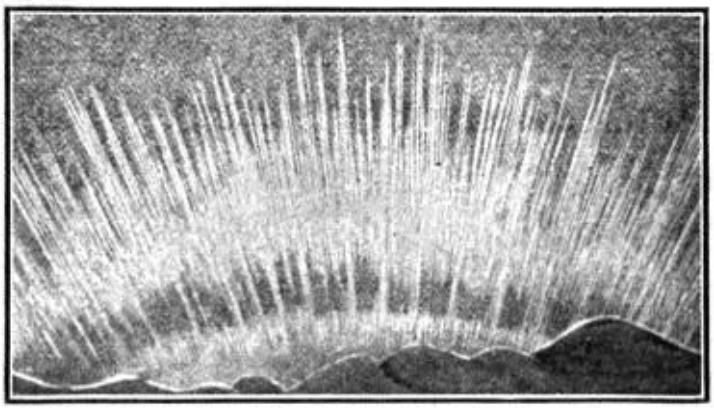


FIG. 418.—Aurora Borealis.

Рис. 418.—Северное сияние.

419. Катодные лучи.—Когда давление в трубке, указанной в статье 420, достигает 0,001 мм рт. ст., или чуть менее одной миллионной атмосферы, характер выброса полностью меняется. Трубка наполняется желтовато-зеленым фосфоресцирующим светом. Это происходит за счет так называемых катодных лучей, падающих на стеклянные стенки трубки. Эти лучи называются катодными лучами, потому что они исходят от катода трубки. Они невидимы, и о том, что они движутся по прямым линиям, свидетельствует тень, полученная при использовании трубки с экраном (рис. 419).

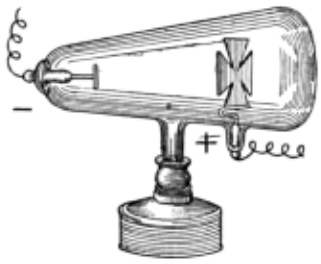


FIG. 419.—A cathode ray tube.

Рис. 419.— Электронно-лучевая трубка.

420. "Рентгеновские" лучи.— В 1895 году профессор Рентген из Вюрцбурга, Германия, обнаружил, что когда катодные лучи попадают на стенки трубки или любое твердое вещество внутри нее, они возбуждают форму невидимого излучения. Это излучение

называется рентгеновскими лучами, или чаще "рентгеновскими" лучами. Тщательные эксперименты показывают, что они распространяются по прямым линиям и что они не могут отражаться или преломляться, как световые волны. Они проходят через стекло и непрозрачные предметы, такие как плоть, картон, ткань, кожа и т.д., но не через металлические вещества. Трубка на рис. 420 имеет экран, покрытый кристаллами, которые становятся светящимися при попадании на них катодных лучей. При поднесении магнита к трубке светящаяся линия поднимается или опускается, показывая, что магнитное поле влияет на поток катодных лучей, притягивая его в одном положении, но отталкивая в обратном направлении. Катодные лучи, которые вызывают яркую линию, обладают отрицательным электрическим зарядом. Сейчас считается, что это электроны, отлетающие от поверхности катода со скоростью, которая может достигать 100 000 миль в секунду. Рентгеновские лучи не обладают никаким электрическим зарядом и не могут быть отклонены магнитом. Они производят на фотографической пластинке тот же эффект, что и свет, только медленнее. Следовательно, их можно использовать для получения "рентгеновских" фотографий. Некоторые кристаллы, такие как цианид платины бария, флуоресцируют при попадании на них "рентгеновских" лучей. *Флюороскоп* - это название, данное светонепроницаемой коробке, закрытой с одного конца картоном, покрытым этими кристаллами (рис. 421). При взгляде в флюороскоп с помощью непрозрачного предмета, такого как рука, помещенная между экраном и "рентгеновской" трубкой, на экране флюороскопа можно увидеть тень костей руки. (См. рис. 422.)

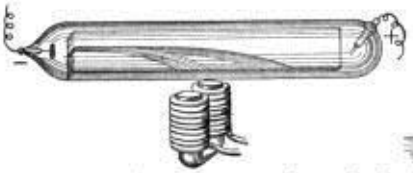


FIG. 420.—The stream of cathode rays is deflected by a magnet.

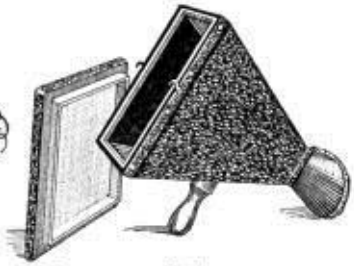


FIG. 421.—A fluoroscope.

FIG. 422.—A view of the "shadow" of a hand as seen in a fluoroscope.

Рис. 420.—Поток катодных лучей отклоняется магнитом.
Рис. 421.—флюороскоп.
Рис. 422.— Вид "тени" руки, видимой во флюороскопе.

Используется трубка особой формы. (См. рис. 423.) В этой трубке платиновый диск помещен в центр вогнутого катода. Это концентрирует "рентгеновские" лучи в одном направлении. В настоящее время принято считать, что "рентгеновские" лучи - это волны в эфире, возникающие при внезапной остановке катодных лучей на платиновом аноде.

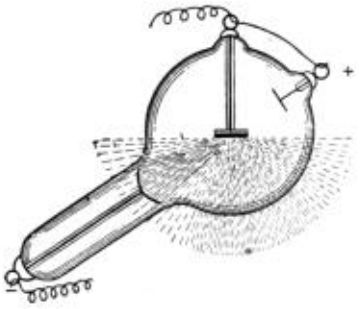


FIG. 423.—An "X" ray tube.

Рис. 423.— Рентгеновская трубка.

421. Электромагнитная теория света.—Изучение электрических волн показало, что они во многих отношениях подобны световым волнам: (а) они имеют ту же скорость; (б) они могут отражаться и преломляться. Основное различие заключается в их длине, поскольку световые волны намного короче. В 1864 году Джеймс Клерк Максвелл, английский физик, предложил теорию о том, что эфирные волны могут создаваться электрическими средствами и что световые волны являются электромагнитными. В 1888 году Герц своими экспериментами доказал, что эфирные волны, имеющие ту же скорость, что и свет, могут быть созданы таким образом. В настоящее время общепринято считать, что световые волны - это эфирные волны, создаваемые колебаниями электронов внутри атомов, и что они состоят из электромагнитных волн в эфире.

422. Радиоактивность.— В 1896 году Анри Беккерель из Парижа обнаружил, что уран и его соединения испускают форму излучения, которая производит на фотопластинку эффект, подобный тому, который возникает в результате действия "рентгеновских" лучей. Эти лучи часто называют *лучами*, в честь их первооткрывателя. Свойство испускать такие лучи называется **радиоактивностью**, а вещества, их производящие, называются **радиоактивными**.

В 1898 году профессор и мадам Дж. Кюри после исследования всех элементов обнаружила, что *торий*, один из основных компонентов раскаленных газовых оболочек, вместе с его соединениями также является радиоактивным. Это может быть показано следующим экспериментом:

Поместите расплющенную газовую оболочку на фотопластинку и оставьте в светонепроницаемой упаковке на несколько дней. После проявления пластины обычным способом на пластине будет обнаружено отчетливое изображение мантии.

423. Радий.—Мадам . Кюри обнаружила также, что смоляная обманка обладает гораздо большей радиоактивной активностью, чем торий или уран. После длительных химических экспериментов она получила из нескольких тонн руды несколько миллиграммов вещества, более чем в миллион раз более активного, чем торий или уран. Она назвала это новое вещество *радием*. Радий постоянно разлагается, и это разложение сопровождается выделением большого количества тепла. Было подсчитано, что потребуется около 300 лет, чтобы частица радия полностью разложилась и разделилась на другие вещества. Также

считается, что сам радий является продуктом разложения урана с атомным весом 238 и что конечным продуктом последовательных разложений может быть какой-нибудь инертный металл, например свинец с атомным весом 207.

Излучение, испускаемое радиоактивными веществами, состоит из трех видов: (A) положительно заряженные частицы гелия, называемые *альфа* лучами: (B) отрицательно заряженные частицы, называемые *бета* лучами: (C) *гамма*-лучи.

Проникающая способность альфа-лучей невелика, их останавливает лист бумаги или лист алюминия толщиной 0,05 мм. Теряя свой заряд, они превращаются в атомы гелия. Их скорость составляет примерно 1/10 световой, или 18 000 миль в секунду. *Спинтарископ* - это небольшой прибор, изобретенный сэром Уильямсом Круксом в 1903 году для получения прямых доказательств того, что частицы радия непрерывно вылетают. В этом приборе (рис. 424) крупинка радия *R* помещается на нижнюю сторону проволоки, расположенной на несколько миллиметров выше экрана *S*, покрытого кристаллами сульфида цинка. Глядя в темноте на этот экран через объектив *L*, можно увидеть непрерывную череду искр, похожих на рой светлячков теплой летней ночью. Каждая вспышка происходит из-за столкновения альфа-частицы с экраном. Предполагается, что бета-лучи представляют собой катодные лучи или электроны со скоростями от 40 000 до 170 000 миль в секунду. Предполагается, что гамма-лучи - это "рентгеновские" лучи, создаваемые бета-лучами, падающими на твердые объекты.

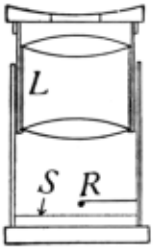


FIG. 424.—A spinthariscope.

Рис. 424.—спинтарископ.

424. Открытие радиоактивности произвело революцию в представлениях о строении материи. Кроме того, результаты экспериментов с радиоактивными материалами свидетельствуют о наличии огромных количеств субатомной энергии. Если человек когда-нибудь откроет способ использовать это, он войдет в хранилище энергии гораздо большего объема и ценности, чем любая из тех, которыми он до сих пор пользовался. Изучение этого неизведанного региона придает изюминку работе тех, кто изо дня в день стремится понять силы природы и контролировать их.

Важные темы

1. Колебательный характер разряда Лейденской банки. Доказательства.

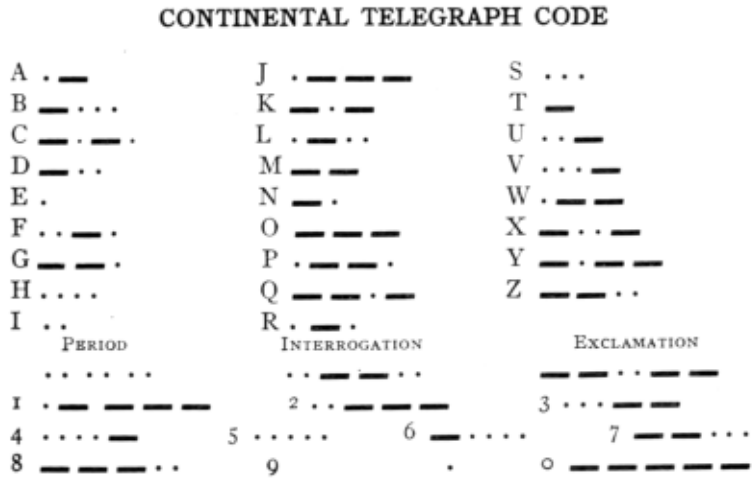
2. Беспроводная телеграфия и телефония.

3. Электрические разряды в разреженных газах.

4. Катодные и "рентгеновские" лучи.

5. Электромагнитная теория света.

6. Радиоактивность и радий.



КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ТЕЛЕГРАФНЫЙ КОД

A . - J . - - - S . . . .
B - . . . K - . - . T -
C - . - . L . - . . U . . . -
D - . . M - - - V . . . . -
E . N - . W . - - -
F . . . . O - - - X - . . . -
G - - - . P .- - - . Г - . - -
Сек . . . . Г - - . - З - - . .
Я . . Р . - .

Период Допроса Восклицание
. . . . . - - . . - - . . - -

1 . - - - - 2 . . - - - 3 . . . - -
4 . . . . - 5 . . . . . 6 - . . . . 7 - - . . .
8 - - - . . 9 - - - - . 0 - - - - -

ГЛАВА XVIII

БЕСПРОВОДНАЯ ТЕЛЕФОНИЯ И ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Развитие беспроводной связи было настолько быстрым в последние годы, что представляется желательным более подробное описание, чем приведенное в статье 417, устройств и методов, используемых в настоящее время. Изучение переменных токов также включено с той целью, чтобы сделать текст более полным и более полезным.

БЕСПРОВОДНАЯ ТЕЛЕФОНИЯ

425. Беспроводной телефон.—Одним из наиболее важных достижений в области беспроводной связи за последние годы стала беспроводная телефония. Мы осознаем его возможности, когда слышим о достижениях в области общения через океан или между самолетами и землей.

Устройство беспроводного телефона лучше всего понять, сравнив его с обычным телефоном. Когда используется последний, через прибор непрерывно протекает постоянный ток. (См. Статьи 312-316.) Когда человек говорит в передатчик, звуковые волны голоса вызывают вибрацию диафрагмы, это действие вызывает быстрые изменения в *сопротивлении* передатчика, что, в свою очередь, вызывает колебания постоянного тока в такт с импульсами голосовых волн. Этот колеблющийся постоянный ток проходит через первичную обмотку индукционной катушки, создавая во вторичной обмотке усиленный переменный ток. Это проходит по линейным проводам к приемнику, где создает колебания магнитного поля, воздействующие на диафрагму приемника, заставляя последнюю воспроизводить голос человека, говорящего в передатчике. Теперь, чтобы прояснить сравнение, необходимо отметить два факта в отношении проводного телефона: во-первых, в передатчике должно быть действие, вызывающее колебания тока через прибор; во-вторых, это колебание тока создает более интенсивный переменный ток, который течет по линии и воздействует на диафрагму приемника, создавая там звуковые колебания большей интенсивности, чем те, которые используются в передатчике. Эта дополнительная энергия поступает от тока, протекающего через передатчик. Корпус аналогичен электрическому звонку. Якорь звонка вибрирует с большей энергией, чем требуется для нажатия кнопки, при этом дополнительная энергия вырабатывается от аккумулятора.

426. Действие беспроводного телефона.—В беспроводном телефоне мы имеем непрерывный поток электрических волн высокой частоты. (См. рис. 425*A*.) Этот поток электрических волн соответствует току, который протекает через передатчик в проводном телефоне. Эти волны имеют такую высокую частоту, что даже при том, что у нас была диафрагма приемника, вибрирующая в такт волнам, мы не могли слышать звук, потому что человеческое ухо не может слышать звук, состоящий из более чем 40 000 колебаний в секунду. Звуковые волны очень сильно воздействуют на этот поток волн, подобно тому, как в проводном телефоне передатчик изменяет ток в линии. Импульсы, вызываемые голосом, намного медленнее, чем упомянутые ранее электрические волны, и эти более медленные импульсы воспроизводятся в приемнике. Эти более медленные импульсы не только воспроизводятся, но и *усиливаются*, то есть вырабатываются с большей энергией, чем импульсы, воздействующие на поток волн. На рис. 425*A* представлен настолько близко, насколько это возможно на диаграмме, непрерывный поток электрических волн. На рис. 426*B*представлены импульсы, производимые только звуком, а на рис. 426*C*показано, как эти голосовые импульсы отражаются на потоке волн.

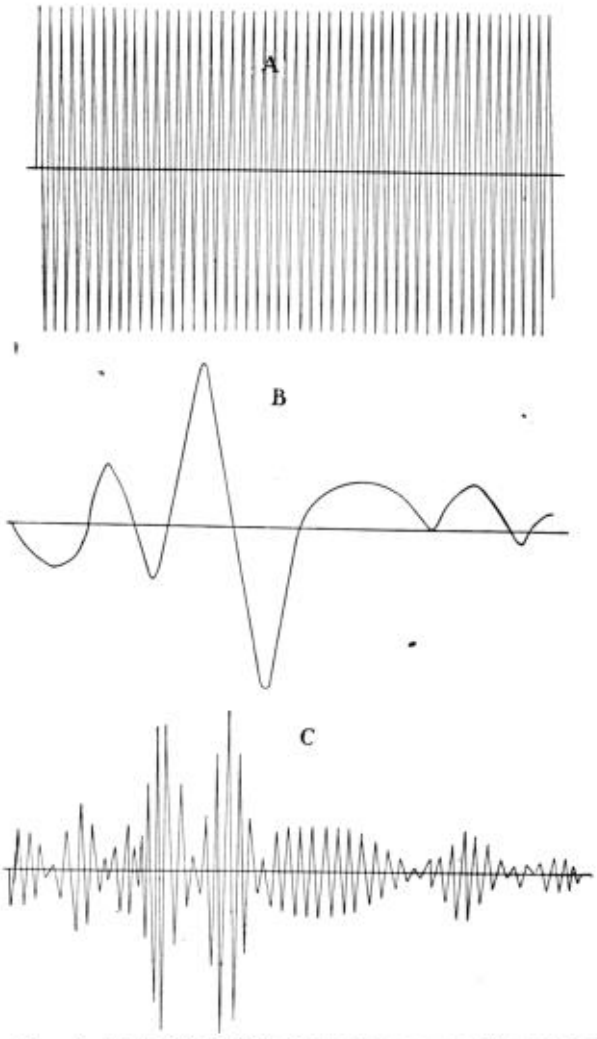


FIG. 425.—*A*, unmodified high frequency waves; *B*, waves of voice frequency; C, high frequency waves modified by waves of voice frequency.

РИС. 425.—*A*, неизмененные волны высокой частоты; *B*, волны тональной частоты; *C*, волны высокой частоты, модифицированные волнами тональной частоты.

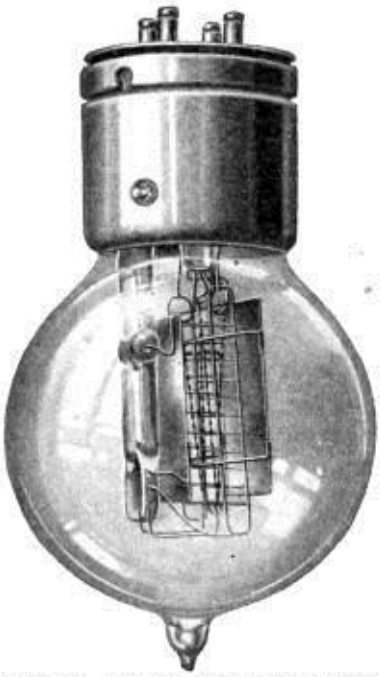


FIG. 426.—Vacuum tube, transmitting type. (*Western Electric Co.*)

FIG. 427.—Vacuum tube, receiving type. (*Western Electric Co.*)

Рис. 426.—Вакуумная трубка передающего типа. (*Western Electric Co.*)
Рис. 427.—Вакуумная трубка, приемный тип. (*Western Electric Co.*)

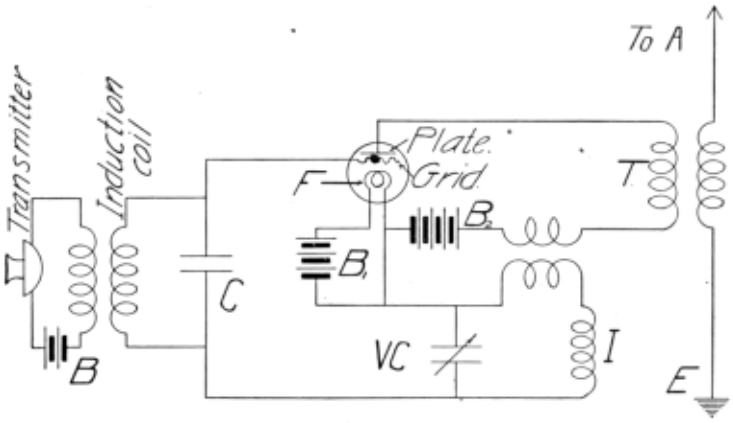


FIG. 428.—Diagram of wireless telephone transmitting set.

Рис. 428.—Схема передающего устройства беспроводной телефонной связи.

427. Вакуумная трубка или Аудион.—Устройством, с помощью которого все это достигается, является *вакуумная трубка*. (См. рис. 426.) Эта трубка содержит три электрода. *Первый*, *нить накала* (*F*, на рис. 428), которая нагревается током от батареи (B_1, рис. 428) и, поскольку она нагревается, испускает поток электронов. *Вторая*, *пластина*, которая образует анод цепи от аккумулятора, B_2. Эта пластина принимает электроны, которые отбрасываются нагретой нитью накала, следовательно, ток протекает по цепи B_2; разряд через трубку зависит от э.д.с. между нитью накала и пластиной. *B*-, между *нитью накала и пластиной расположена*решетка, которая подключена к *вторичной* катушке индуктивности, первичная обмотка которой подключена к передатчику. Когда диафрагма передатчика вибрирует, электромагнитное поле, индуцируемое во вторичной обмотке индукционной катушки, вызывает изменение потенциала сетки. Это означает изменение электрического поля между нитью накала и пластиной. (См. рис. 428.) Изменяющееся электрическое поле вызывает изменение разряда электронов через трубку; изменение соответствует

колебаниям диафрагмы передатчика. Это создает скачкообразный ток частоты звуковых волн в первичной обмотке трансформатора (*T*, рис. 428). Вторичная обмотка этого трансформатора подключена к антенне (*A*) и заземлению (*E*). С помощью трансформатора в антеннах создаются быстрые импульсы, и эти импульсы создают непрерывный поток электромагнитных волн, который распространяется в пространстве. (Как на рис. 426*C*.) Эти электромагнитные волны вызывают колебания в антеннах приемной станции. Антенны передают импульсы в *трубку* (рис. 427), которая действует как *детектор*и делает возможным воспроизведение звука обычной телефонной трубкой.

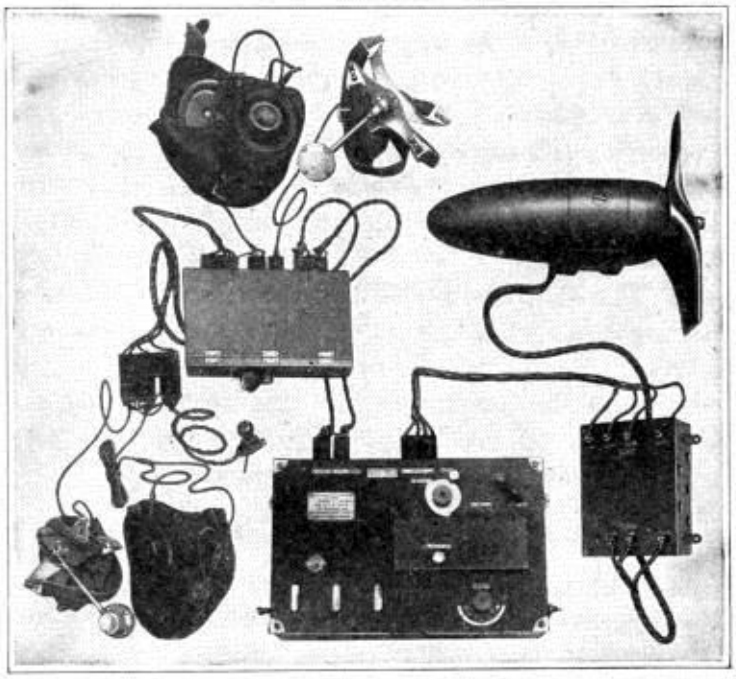


FIG. 429.—View of wireless telephone set.

Рис. 429.—Вид беспроводного телефонного аппарата.

The *Вакуумная трубка* в цепи передачи также *усиливает* импульсы, то есть энергия излучаемых волн больше, чем энергия импульсов, которые их производят, дополнительная энергия извлекается из батареи, посылающей ток через пластину и нить накала. При работе нить накала и пластина подключаются к батарее с *конденсатором* (*VC*) и *катушкой индуктивности* (*I*) в цепи, как показано на рис. 428. Фотография комплектного современного беспроводного телефонного аппарата показана на рис. 429.

ПЕРЕМЕННЫЕ ТОКИ

428. Переменные токи представляют для нас интерес из-за их общего коммерческого использования. Чтобы понять причину широкого применения переменных токов, необходимо изучить фундаментальные принципы, которые к ним относятся. Производство таких токов уже объяснялось в статьях 300-304. Следует помнить, что ток, вырабатываемый в якоре динамо-машины, является переменным. Динамо-машина может *подавать* постоянный или переменный ток, в зависимости от метода сбора тока с якоря. Если используется *коммутатор*, машина подает *постоянный* ток, если используются *контактные кольца*, подается *переменный* ток.

429. Магнитное поле переменного тока.—Магнитное поле постоянного тока рассматривалось в области техники. 255-256. Было показано, что он расположен по кругу

вокруг проводника в соответствии с *Правилом правой руки*. (См. рис. 229 и 230.) Эти факты помогут понять следующий эксперимент:

Если несколько магнитных компасов расположить по кругу вокруг прямого вертикального провода, по которому течет постоянный ток, стрелки компаса будут указывать на окружность вокруг провода. (См. рис. 430, *А*.) Если теперь повернуть ток вспять, стрелки компаса поменяются местами и будут указывать в направлении, прямо противоположном тому, которое было выбрано вначале. (См. рис. 430, *Б*.) Это станет ясно, если вы представите, что сначала идете по проволоке в направлении, указанном стрелками компаса, а затем идете по проволоке в обратном направлении. Это иллюстрирует, что происходит в поле переменного тока. Поле меняется на противоположное каждый раз, когда меняется ток.

Магнитное поле переменного тока не только быстро меняется на противоположное, но и непрерывно *изменяет свою интенсивность*. В момент, когда ток меняется на противоположный, сила магнитного поля равна нулю, поскольку ток в этот момент равен нулю. Когда ток начинает течь и увеличивается до своей максимальной интенсивности, появляется магнитное поле, интенсивность которого увеличивается; а когда ток уменьшается до нуля, магнитное поле изменяется аналогичным образом. Поле по мере увеличения силы распространяется все дальше и дальше от провода, по мере уменьшения силы оно сжимается или приближается к проводу. Таким образом, можно сказать, что магнитное поле расширяется и сжимается. Мы можем представить силовые линии как непрерывно движущиеся. В типичной цепи переменного тока полная серия изменений происходит за малую долю секунды и повторяется много раз за секунду. Сравните это с магнитным полем постоянного тока. Здесь магнитное поле имеет то же направление, пока ток течет и его сила не меняется. Это сравнение важно, поскольку большая часть различий между постоянным и переменным токами зависит от различий в действии их магнитных полей.

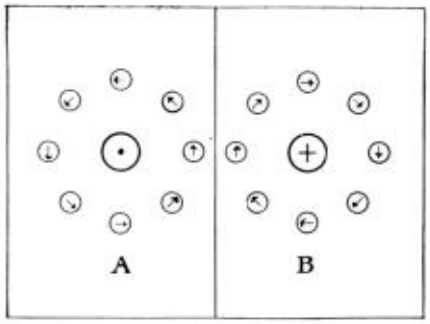


FIG. 430.—Arrangement of compasses about a wire carrying an alternating current.

Рис. 430.Расположение циркуля вокруг провода, по которому проходит переменный ток.

430. Трансформаторы.—Трансформатор описан в статьях 309-310. Принцип действия трансформатора может быть проиллюстрирован следующим экспериментом:

Катушка с несколькими сотнями витков медного провода № 18 постоянного тока надевается на одно плечо U-образного железного сердечника (см. Рис. 431), а затем подключается к цепи освещения переменного тока напряжением 110 вольт. Другая катушка (*S*), имеющая около 50 витков медного провода № 22 постоянного тока, подключается к электрическому звонку или зуммеру, или к электрической лампочке низкого напряжения. Когда маленькую катушку надевают на другой конец U-образного железного сердечника, звенит колокольчик или загорается лампочка. Очевидно, что электродвижущая сила, возникающая в маленькой катушке (*S*), обусловлена переменным магнитным полем,

проходящим взад и вперед через железный сердечник. На рис. 431 сердечник "открыт", поскольку магнитное поле должно проходить через воздух от одного конца сердечника к другому. Типичный трансформатор имеет *замкнутый сердечник* обеспечивающий *замкнутую магнитную цепь*. Чтобы закрепить это, возьмите подходящий кусок железа и положите поперек конца U-образного сердечника и обратите внимание на любое изменение индуцированного тока, создаваемого в маленькой катушке, из-за усиленного движения магнетизма через закрытый железный сердечник.

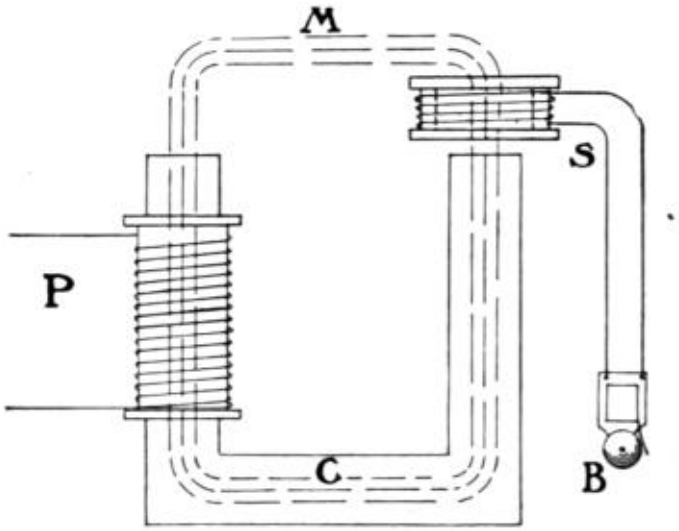


FIG. 431.—Diagram of a transformer.

Рис. 431.—Схема трансформатора.

Этот эксперимент иллюстрирует конструкцию и действие трансформатора. В коммерческом трансформаторе две обмотки находятся в замкнутой магнитной цепи. (См. рис. 304 и 305, стр. 346.) Для сохранения изоляции катушек трансформатор помещен в железный "корпус" и покрыт маслом. Эти "корпуса", или трансформаторные корпуса, обычно крепятся к столбам вблизи зданий, в которых используется переменный ток.

431. Соотношение напряжений в трансформаторе.—В описанном выше эксперименте зазвонил звонок из-за индуцированного тока, создаваемого во вторичной обмотке. Индуцируемая ЭДС была меньше напряжения первичной катушки отчасти из-за некоторой магнитной утечки, но главным образом из-за меньшего количества витков провода на вторичной обмотке. В коммерческом трансформаторе магнитная утечка практически равна нулю. В таком случае отношение числа витков на первичной обмотке к числу витков на вторичной равно отношению ЭДС, индуцированной в первичной обмотке, к ЭДС, индуцированной во вторичной. Предположим, например, что мы хотим изготовить трансформатор колокольного звона для использования в цепи освещения напряжением 110 Вольт, при этом для звонка требуется 10 вольт; тогда вторичной обмотке потребуется одна одиннадцатая от числа витков первичной. Таким образом, если на первичной обмотке 550 витков, то для вторичной обмотки потребуется 50 витков. Это будет "понижающий" трансформатор. С другой стороны, предположим, что мы хотим "повысить" напряжение, как это делается на определенной электростанции, где напряжение генераторов составляет 6000 вольт, причем напряжение повышается до 44 000 с помощью больших трансформаторов. Это означает, что вторичные катушки имеют примерно в 7-1/3 раза больше витков, чем первичные.

432. Потеря мощности в трансформаторе.—Когда напряжение в трансформаторе "повышается", получаем ли мы мощность? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны

помнить, что электрическая мощность зависит не только от напряжения, но и от *произведения* э.Д.С. и силы тока. (См. статью 291.) С помощью тестов с вольтметрами переменного тока и амперметрами мы обнаруживаем, что, когда э.Д.с. вторичной обмотки *больше*, чем э.д.с. первичной обмотки, сила тока вторичной обмотки *меньше*, чем в первичной обмотке. Также обнаружено, что вырабатываемая *мощность* меньше мощности, получаемой трансформатором, *т.е.*"выход" меньше "входа", как и следовало ожидать из закона машин. Потеря мощности происходит главным образом из-за работы, необходимой для обращения вспять магнетизма, то есть для постоянного изменения положения молекул железа. (См. статью 205.) Энергия, теряемая таким образом, известна как "потеря активной зоны", поскольку она происходит в железном сердечнике. Потерянная энергия проявляется в виде тепла. В больших трансформаторах выделяется так много тепла, что предусмотрены специальные средства охлаждения. Чтобы как можно меньше выделять тепла, сердечники "ламинированы" (см. Рис. 305, стр. 346), то есть изготовлены из тонких листов железа, потому что, если бы железные сердечники были сплошными, изменяющиеся магнитные поля вызывали бы электрические токи в железных сердечниках, которые выделяли бы чрезмерное количество тепла с соответственно большими потерями мощности.

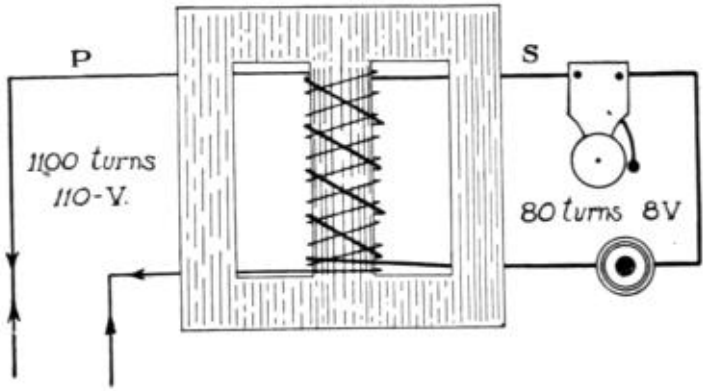


FIG. 432.—Diagram of "bell-ringing" transformer.

Рис. 432.—Схема трансформатора "колокольного звона".

433. Дроссельные катушки и индуктивность.—Если мы обратимся к рис. 432, то увидим, что первичная обмотка трансформатора колокольного звона подключена поперек линии. Эта обмотка образует замкнутую цепь независимо от того, звонит колокол или нет. Сопротивление этой обмотки невелико. Предположим, что оно равно одному Ом. При сопротивлении в один Ом, подключенном к линии 110 Вольт, мы могли бы ожидать ток в 110 ампер. Это, безусловно, то, что мы должны были бы получить, если бы подключили сопротивление в один Ом к линии с постоянным напряжением 110 Вольт. В первичной обмотке образовалось бы короткое замыкание, если бы ток был постоянным. Но дело в том, что практически никакой ток не проходит через первичную обмотку, когда звонок не звонит. В этом заключается одно из важных различий между переменным и постоянным токами. При переменном токе первичная обмотка нашего трансформатора действует как *дроссельная катушка* и "заглушает" ток почти до нуля. Давайте посмотрим, как это делается.

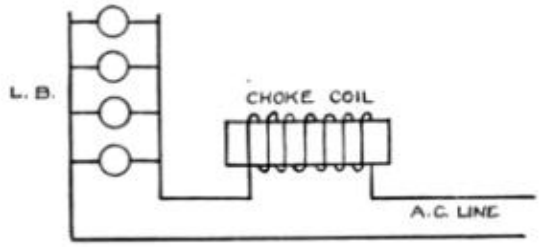


FIG. 433.—A circuit containing a choke coil.

Рис. 433.— Схема, содержащая дроссельную катушку.

Пусть на рис. 433 представлена дроссельная катушка. Поскольку используется переменный ток, магнитное поле постоянно меняется. Каждый виток провода имеет свое собственное магнитное поле. Силовые линии витка № 1 расширяются и сжимаются, и при этом они перемещаются по виткам 2, 3 и так далее. Аналогичным образом силовые линии от каждого витка проволоки перемещаются по другим виткам. Другими словами, катушка перерезает свои собственные силовые линии. Теперь всякий раз, когда электрический проводник перерезает магнитные силовые линии, в проводнике индуцируется электродвижущая сила. Затем в катушке возникает электромагнитное поле, индуцируемое ее собственным магнитным полем. Это наведенное электрическое напряжение в целом противостоит приложенному электрическому напряжению; в первичной обмотке нашего колокольного трансформатора наведенное электрическое напряжение противодействует электрическому напряжению линии до такой степени, что снижает ток почти до нуля. *Индуктивность* - это действие переменного тока, вызывающее противоположное напряжение в катушке, по которой протекает ток. Поскольку это противоположное электромагнитное поле индуцируется в катушке ее собственным магнитным полем, это действие также называется *самоиндукцией*. В трансформаторе действие поля первичной обмотки на вторичную является *взаимной индукцией*; в то время как действие поля первичной обмотки при подавлении тока в самой первичной обмотке является самоиндукцией или индуктивностью. Катушка, имеющая единственную обмотку и используемая для введения индуктивности в цепь, называется *дроссельной катушкой*. Дроссельная катушка, включенная в цепь лампы последовательно с лампами, приглушает свет ламп, поскольку уменьшает силу тока.

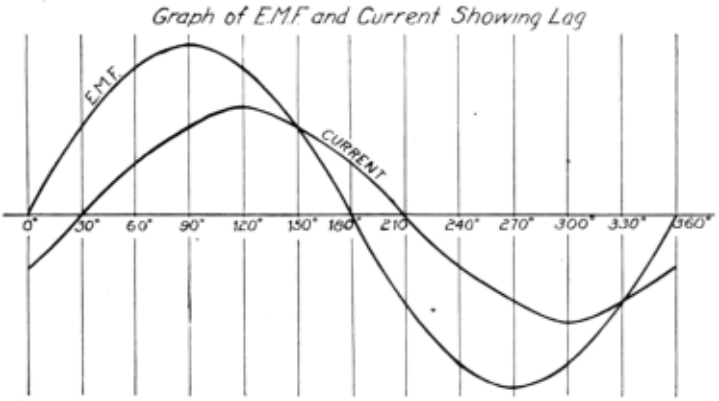


FIG. 434.—Diagram showing graphically an alternating current with a "lag" of 30° behind its electromotive force.

Рис. 434.—Диаграмма, графически показывающая переменный ток с "отставанием" на 30° от его электродвижущей силы.

Самоиндукция приводит к *запаздыванию*тока, то есть ток не достигает своего максимума в тот момент, когда напряжение достигает своего максимума. На рис. 434 графически показаны Э.М.Н. и запаздывающий ток. На этом рисунке максимальный ток показан после максимального напряжения с интервалом в 30 градусов. Другими словами, якорь в двухполюсном поле должен повернуться на 30 градусов от положения максимального напряжения, прежде чем ток в катушке, где происходит самоиндукция, достигнет своего максимума.

434. Реактивное сопротивление и импеданс.—Дроссельная катушка имеет как сопротивление, так и индуктивность. Его сопротивление можно определить методом вольтметр-амперметр, используя постоянный ток. (См. статью 278.) Возьмем, к примеру, первичную обмотку трансформатора колокольного звона. Используя постоянный ток и проверяя катушку с помощью вольтметра и амперметра, мы обнаруживаем, что ее сопротивление составляет, скажем, один Ом. Если мы подключим ту же катушку к сети переменного тока напряжением 110 Вольт, мы обнаружим, что ток очень мал, скажем, 0,05 ампера. Теперь катушка имеет сопротивление и *реактивное сопротивление*. Реактивное сопротивление - это эффект самоиндукции, препятствующий протеканию тока. Оно измеряется в омах. Совокупный эффект сопротивления и реактивного сопротивления называется *полным сопротивлением*. В приведенном выше примере импеданс катушки составляет 110 (вольт) / 0,05 (ампер) = 2200 Ом. При применении закона Ома к цепи переменного тока импеданс должен быть заменен сопротивлением. Закон Ома, применяемый к цепи переменного тока, должен быть указан: "Сила тока равна e.m.f., деленная на полное сопротивление", или $I = E/Z$. (Z = полное сопротивление.)

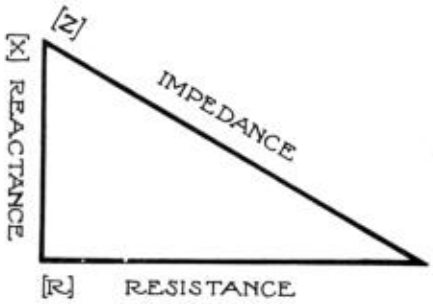


FIG. 435.—The relation between resistance, reactance and impedance.

Рис. 435.—Соотношение между сопротивлением, реактивным сопротивлением и полным сопротивлением.

Импеданс, однако, не равен *сумме* сопротивления и реактивного сопротивления. Соотношение между этими тремя величинами аналогично соотношению между тремя сторонами прямоугольного треугольника, в котором импеданс представляет гипотенузу, а сопротивление и реактивное сопротивление - две другие стороны. Смотрите рис. 435, который показывает, что сопротивление^2 + Реактивное сопротивление^2 = Полное сопротивление^2, или ($R^2 + X^2 = Z^2$). (X = реактивное сопротивление.) Чтобы проиллюстрировать это соотношение; предположим, что первичная обмотка трансформатора имеет импеданс 10 Ом и сопротивление 8 Ом, тогда реактивное сопротивление равно $10^2 - 8^2 = 6^2$, или реактивное сопротивление равно 6 Ом. В

Упражнения

1. Найдите реактивное сопротивление дроссельной катушки с сопротивлением 10 Ом, когда ее полное сопротивление равно 50 Ом. Насколько большой ток протекает через эту катушку, если напряжение на клеммах составляет 110 вольт?

2. Когда звонит колокол, первичная обмотка трансформатора колокольного звона имеет значительный ток. Предположим, что этот ток равен 0,2 ампера. Каково полное сопротивление, если напряжение линии составляет 115 Вольт? Каково реактивное сопротивление, если сопротивление равно 1 Ом?

3. Первичная обмотка большого трансформатора имеет напряжение на клеммах 6000 вольт и ток 600 ампер. Каково полное сопротивление? Если сопротивление равно 6 Ом, то каково реактивное сопротивление?

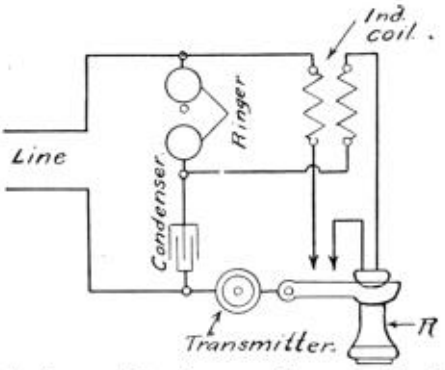


FIG. 436.—A telephone set showing a condenser used in the circuit of the "ringer."

Рис. 436.— Телефонный аппарат, показывающий конденсатор, используемый в схеме "звонка".

435.Электрический конденсатор (см. статью 231) является очень полезным устройством в цепях переменного тока; *например,* в телефонных аппаратах, используемых в городах, конденсатор используется в цепи вызова, как показано на рис. 436. Для срабатывания такого звонка требуется переменный ток, а конденсатор пропускает через себя переменный ток, хотя он полностью предотвращает протекание постоянного тока. Это своеобразное действие сейчас будет объяснено.

436. Действие конденсатора в цепи переменного тока может быть проиллюстрировано следующим экспериментом. Подсоедините параллельно двенадцать конденсаторов мощностью 1 мкф (микрофарад), а затем подсоедините их к сети переменного тока напряжением 110 Вольт так, чтобы в цепь попала лампа накаливания, как показано на рис. 437. Будет обнаружено, что лампа ярко светится, хотя между двумя наборами пластин конденсатора нет электрического соединения. Если такое же устройство подключено к цепи постоянного тока напряжением 110 Вольт, лампа не горит, потому что это действительно разомкнутая цепь. Лампа горит от сети переменного тока, потому что, хотя электричество не проходит *через* конденсатор, оно поступает *в* конденсатор и выходит из него, проходя взад и вперед через лампу с достаточной интенсивностью, чтобы заставить ее ярко светиться. Когда переменный ток движется в цепи в одну сторону, один набор пластин конденсаторов заряжается положительно, другой - отрицательно. Когда переменный ток меняется на противоположный, заряды на пластинах конденсатора меняются на противоположные. В обычной цепи освещения каждую секунду происходит 120 изменений, так что электричество быстро поступает в конденсаторы и выходит из них. При удалении из цепи одного конденсатора за другим обнаруживается, что лампа светится все меньше и меньше, пока не останется только один конденсатор, свечения не наблюдается, поскольку один маленький конденсатор не обладает достаточной *емкостью*.

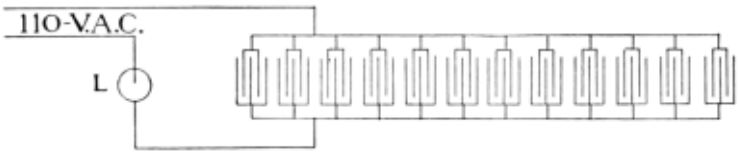


FIG. 437.—Twelve condensers in circuit with an incandescent lamp.

Рис. 437.— Двенадцать конденсаторов в цепи с лампой накаливания.

Единицей измерения емкости является *фарад*. Мощность определяется как количество электроэнергии в секунду, поступающее в конденсатор при изменении напряжения на клеммах со скоростью один вольт в секунду. Если изменение на один вольт в секунду приводит к протеканию одного кулона в секунду, то есть к току в один ампер, емкость равна одной *фараде*. Конденсаторы, использованные в вышеупомянутом эксперименте, имеют емкость в одну микрофараду, или одну миллионную фарады.

Конденсатор из-за своей емкости заставляет переменный ток *подводить* напряжение, то есть ток достигает своего максимального значения раньше, чем напряжение. В этом отношении конденсатор обладает эффектом, противоположным эффекту самоиндукции дроссельной катушки (последняя вызывает "запаздывание" тока). (См. рис. 435.)

437. Передача электроэнергии.—Область особой полезности переменного тока заключается в экономичной передаче электроэнергии. Этот факт обусловлен следующими причинами: (*a*) Потеря электроэнергии в линии электропередачи происходит из-за выработки тепла; производимое тепло пропорционально I^2R, или *квадрату current intensity*силы тока..... Таким образом, любое уменьшение расхода тока, необходимого для передачи заданной мощности, повысит эффективность передачи. (*b*) Чтобы использовать небольшой ток для передачи большого количества энергии, мы должны использовать очень высокую э.д.у. Такие высокие электродвижущие силы, скажем, от 60 000 до 100 000 вольт, могут быть получены только с помощью трансформаторов переменного тока, поскольку практически невозможно построить генератор постоянного тока, способный вырабатывать 60 000 вольт. В крупных системах передачи электроэнергии генераторы переменного тока используются для выработки мощного переменного тока. Затем Э.М.ф. повышается до подходящего напряжения (2300-100 000) трансформаторами и передается по линиям электропередачи в различные места, где будет использоваться мощность; в этих местах подходящие трансформаторы "понижают" э.м.ф. до удобного или безопасного для использования напряжения. (См. рис. 442 линии электропередачи и рис. 438 крупной системы передачи электроэнергии, а также рис. 439 генератора переменного тока и электростанции.)

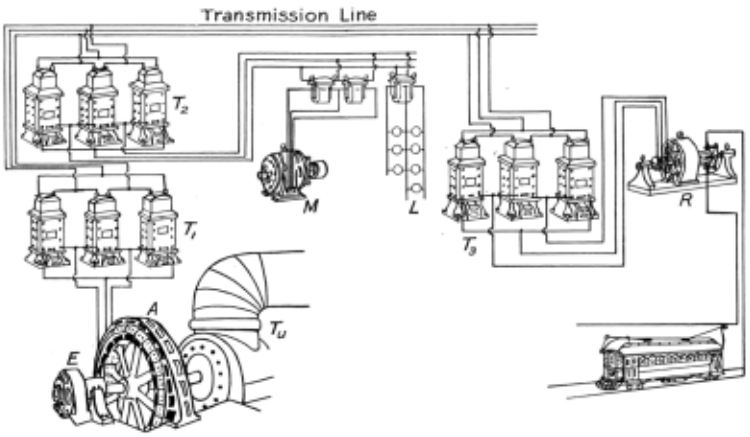


FIG. 438.—Diagram of an alternating current high tension power system. (*A*) Alternator, (*Tu*) water turbine, direct connected to alternator, (*E*) exciter, (T_1) step-up transformers in power station, (T_2) step-down transformers in substation, (*M*) motor, (*L*) lamps, single-phase, three-wire system, (T_3) step-down transformers delivering three-phase current to rotary converter (*R*) which delivers direct current to the trolley line.

РИС. 438.-Схема системы питания высокого напряжения переменного тока. (*A*) Генератор переменного тока, (*Tu*) водяная турбина, подключенная непосредственно к генератору переменного тока, (*E*) возбудитель, (T_1) повышающие трансформаторы на электростанции, (T_2) понижающие трансформаторы на подстанции, (*M*) двигатель, (*L*) лампы, однофазная трехпроводная система, (T_3) понижающие трансформаторы, подающие трехфазный ток на поворотный преобразователь (*R*), который подает постоянный ток на троллейбусную линию.

438. Коэффициент мощности.— *Коэффициент мощности* является предметом интереса и важности при использовании машин переменного тока. Его значение и использование можно понять из следующего объяснения: В цепи постоянного тока ватты равны вольтам, умноженным на амперы. В цепи переменного тока это уравнение верно только тогда, когда ток находится "в шаге" от напряжения, то есть только тогда, когда в цепи нет *индуктивности* или *емкости*. Если ток и напряжение не совпадают, *т.е.*, если есть *задержка* или *опережение* (см. рис. 434), произведение вольт и ампер дает только *кажущуюся мощность*, соотношение между истинной и кажущейся мощностью в зависимости от величины задержки или опережения. Это соотношение называется коэффициентом мощности. Таким образом, в цепи переменного тока уравнение мощности выглядит следующим образом: ватты = вольты × амперы × коэффициент мощности, или коэффициент мощности = истинная мощность / кажущаяся мощность. Произведение вольт и ампер представляет собой *кажущуюся мощность* и называется вольт-амперами в отличие от истинной мощности или ватт. Следовательно, верно следующее: коэффициент мощности = истинные ватты / вольт-амперы.

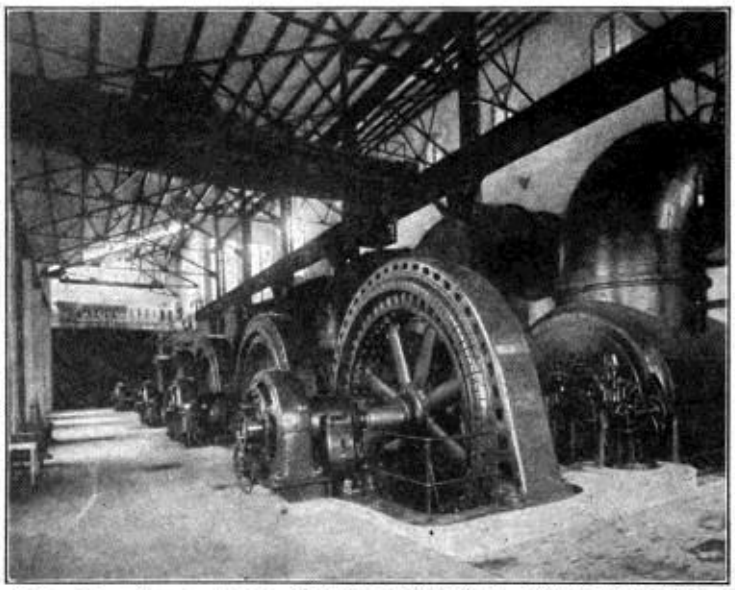


FIG. 439.—Power house showing alternators, direct connected to horizontal hydraulic turbines. Note the direct current "exciter" on end of shaft of alternator. (*Courtesy of General Electric Co.*)

Рис. 439.— Электростанция, показывающая генераторы переменного тока, напрямую подключенные к горизонтальным гидравлическим турбинам. Обратите внимание на "возбудитель" постоянного тока на конце вала генератора переменного тока. (*Любезно предоставлено General Electric Co.*)

439. Однофазные токи.—Существует несколько видов переменного тока. Одним из наиболее распространенных является *однофазный*. Это просто обычный переменный ток, используемый для освещения и электроснабжения в обычном доме, и использует двухпроводную цепь, по которой ток быстро меняется. Рис. 440 иллюстрирует изменения e.m.f. в однофазном токе переменного тока. Это может быть произведено одной катушкой, вращающейся в магнитном поле. Кривая на рис. 440 представляет собой один *цикл*, то есть одну полную серию изменений электродвижущих сил. В конце цикла якорь находится в том же состоянии, что и в начале, что касается магнитного поля. Затем начинается новый цикл. Обычный коммерческий переменный ток имеет частоту 60, то есть 60 циклов в секунду. За одно вращение получается столько циклов, сколько существует пар полюсов. Например, если в поле генератора 48 полюсов, то за один оборот получается 24 цикла.

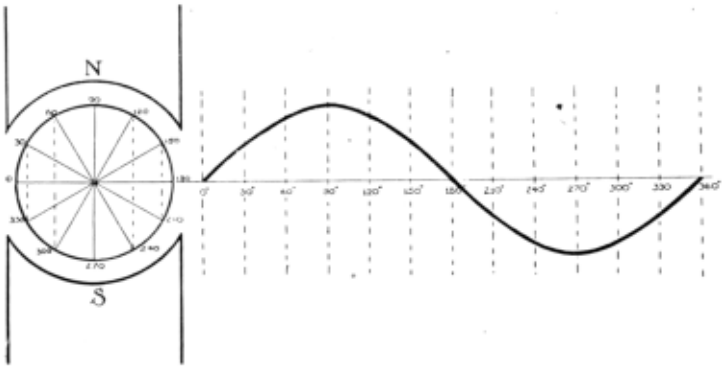


FIG. 440.—Graph showing the e.m.f. changes of a single-phase current for one "cycle."

Рис. 440.—График, показывающий изменения однофазного тока за один "цикл".

440. Трехфазные токи.—Теперь предположим, что у нас есть три катушки, как показано на рис. 441, причем катушки расположены на равном расстоянии, или под углом 120 градусов друг от друга, в точках *A*, *B* и *C*. Если катушки вращать в магнитном поле, то каждая из них будет создавать электродвижущую силу. Результат, создаваемый тремя такими катушками, называется *трехфазным* током. Обычно для передачи тока, вырабатываемого тремя отдельными катушками, требуется шесть проводов, или три цепи; поскольку, когда катушка "*C*" находится в положении 90 градусов, где ее e.m.f. является максимальным, катушка "*B*" на 120 градусов больше своего максимума, а катушка "*A*" на 240 градусов больше своего максимума. На графике (рис. 441) показаны максимальные точки трех e.m.f., разделенные интервалами в 120 градусов. Однако на практике оказывается возможным использовать *три провода* вместо шести, как объясняется в статье 441.

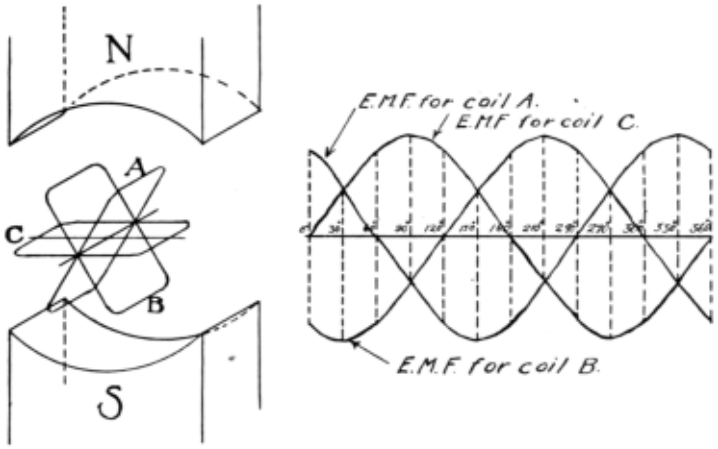


FIG. 441.—Graph showing the e.m.f. changes of a three-phase current for one "cycle."

Рис. 441.—График, показывающий изменения e.m.f. трехфазного тока за один "цикл".

441. Трехпроводная передача.—Токи, создаваемые в трех только что описанных катушках, претерпевают точно такие же изменения, как те, которые представлены на *графике* (рис. 441) для трех электродвижущих сил. Внимательное изучение графика покажет, что в любой точке сумма *плюс* e.m.f. равна сумме *минус* e.m.f. Другими словами, алгебраическая сумма трех коэффициентов равняется нулю. Следовательно, если мы правильно подключим линию передачи из трех проводов к генератору, сумма токов, выходящих из генератора, будет равна сумме токов, возвращающихся к нему. Поскольку алгебраическая сумма токов, вырабатываемых комбинацией из трех катушек, описанной в статье 440, всегда равна нулю, на трехфазных линиях передачи можно использовать три провода. На рис. 442 показана "вышка", несущая три трехпроводные линии электропередачи. Линии электропередачи высокого напряжения на большие расстояния, как правило, представляют собой трехпроводные линии, по которым передаются трехфазные токи переменного тока.

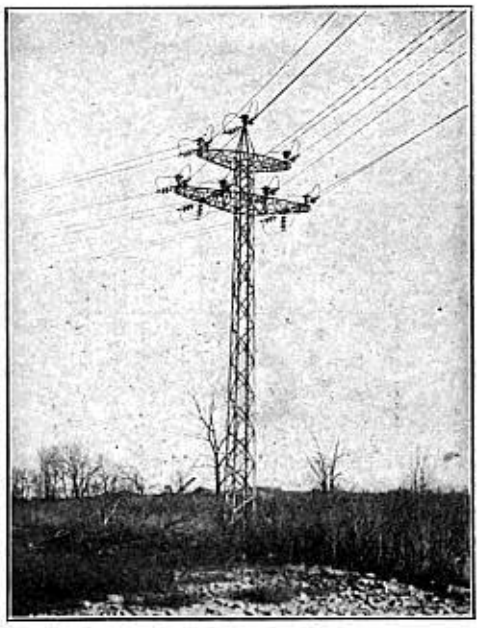


FIG. 442.—A "tower" supporting three, three-phase circuits of a high tension transmission line.

Рис. 442.— "Башня", поддерживающая три трехфазных контура линии электропередачи высокого напряжения.

442. Генераторы переменного тока.—Динамо-машина, которая подает переменный ток, известна как *генератор переменного тока*. Коммерческие генераторы переменного тока имеют много пар полюсов в полевых условиях, и, как правило, поле вращается, пока якорь неподвижен. На поле должен подаваться *постоянный* ток, поскольку полярность каждой катушки в поле должна оставаться неизменной. Обычно используется отдельный "возбудитель", представляющий собой небольшой генератор постоянного тока. Ток от этого возбудителя подается во вращающееся поле с помощью контактных колец. На рис. 439 показан возбудитель постоянного тока на конце вала якоря большого генератора переменного тока.

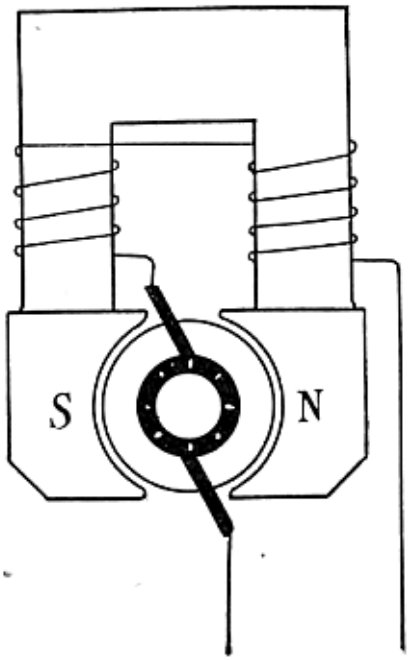


FIG. 443.—Diagram of a "Series Motor."

Рис. 443.—Схема "Серийного двигателя".

443. Двигатели серии А.-С.—Единственный тип двигателя, который будет работать на переменном или постоянном токе, - это *серийный двигатель*. "Универсальный" двигатель, используемый в бытовых приборах, таких как электрические вентиляторы, пылесосы и т.д., является серийным двигателем. Причина, по которой последовательный двигатель будет работать либо на постоянном, либо на переменном токе, заключается в том, что направление вращения якоря двигателя зависит от (*a*) направления тока в якоре и (*b*) полярности поля. Реверсирование любого из них по отдельности меняет направление вращения якоря на противоположное, в то время как реверсирование обоих в один и тот же момент времени оставляет направление вращения неизменным. Рис. 443 представляет собой схему последовательного двигателя, поскольку катушки возбуждения и якорь соединены последовательно. Таким образом, в линии переменного тока ток как возбуждения, так и якоря должен измениться на противоположный в один и тот же момент. В шунтирующем двигателе (аналогично рис. 286) мы имеем разделенную цепь, и большая самоиндукция катушек возбуждения приводит к тому, что переменный ток через эти катушки отстает от тока, протекающего в якоре, так что два тока не меняются местами в один и тот же момент.

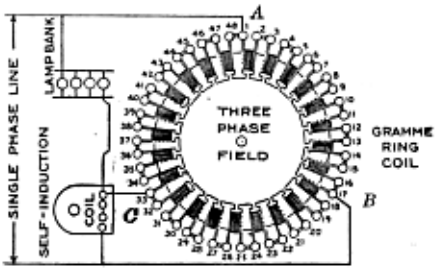


FIG. 444.—Diagram of a gramme ring. It is shown connected to a single-phase current so as to produce a rotating magnetic field, similar to that obtained with a three-phase current. (*Ahrens, Harley and Burns.*)

Рис. 444.-Схема граммового кольца. Показано, что он подключен к однофазному току таким образом, чтобы создавать вращающееся магнитное поле, аналогичное тому, которое получается при использовании трехфазного тока. (*Аренс, Харли и Бернс.*)

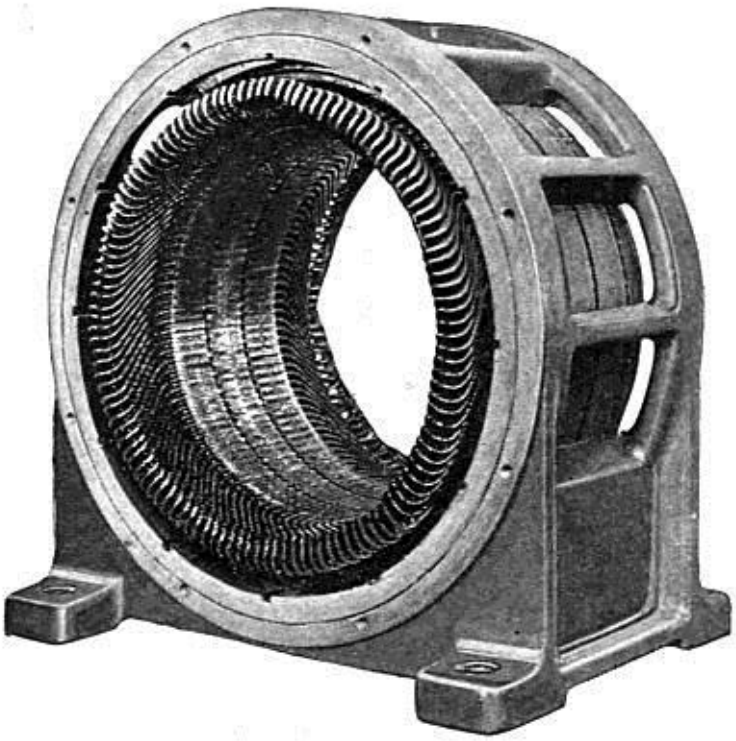


FIG. 445.—The "stator" of an induction motor.

Рис. 445.— "Статор" асинхронного двигателя.

444. асинхронный двигатель.—Другим распространенным типом двигателя переменного тока является *асинхронный двигатель*. Его преимущество заключается в простоте. У него нет ни коллектора, ни щеток, якорь не имеет соединения с внешней цепью. Если провода трехфазной линии подсоединить к катушке, намотанной в виде *граммового кольца*, причем соединения расположены на расстоянии 120 градусов друг от друга, как показано на рис. 444, магнитное поле внутри этой катушки изменится таким же образом, как если бы магнит вращался на оси вращения в центре катушки. Предположим, что *N* полюс в один момент времени находится в *A*, за одну треть цикла он перемещается к *B*, за другую треть - к *C*, и за один цикл он совершает полный оборот. Таким образом, мы имеем *вращающееся магнитное поле*. Если чашку из какого-либо немагнитного металла, такого как алюминий или медь, поместить на ось в центре этой катушки, чаша разрезается движущимися силовыми линиями и в ней индуцируются токи. Из-за этих токов чашка имеет собственное магнитное поле, и действие двух магнитных полей таково, что они вращают чашку и заставляют ее вращаться в том же направлении, в котором вращается поле катушки. Катушка представляет собой неподвижную часть, *статор* (рис. 445), а чаша - вращающуюся часть, *ротор* асинхронного двигателя. Хотя чашка вращается в том же направлении, она вращается не так быстро, как магнитное поле. Если бы это произошло, то ясно, что это не привело бы к разрыву силовых линий. Разница между скоростью вращения ротора и магнитного поля называется "скольжением". Вращающаяся деталь в небольших асинхронных двигателях часто изготавливается одним литьем. В больших двигателях он изготавливается из тяжелых медных стержней. Таким образом, по своему внешнему виду распространенная форма ротора известна как "короткозамкнутый" ротор. (См. рис. 446.)

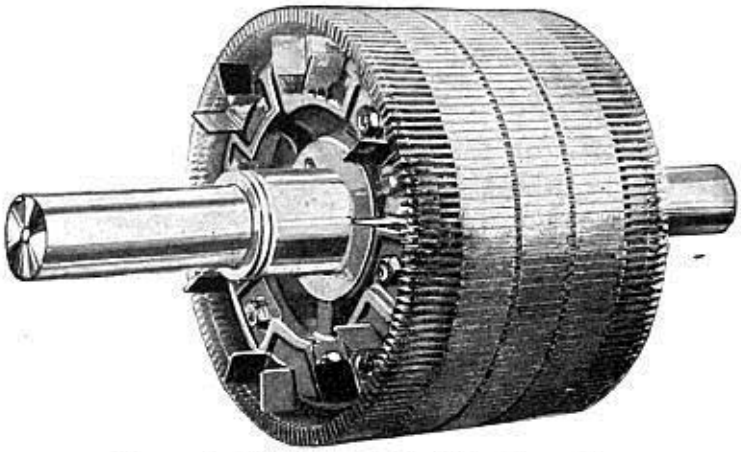


FIG. 446.—The "rotor" of an induction motor.

Рис. 446.— "Ротор" асинхронного двигателя.

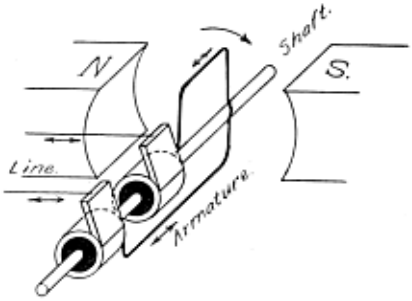


FIG. 447.—Diagram illustrating the principle of the synchronous motor. The armature coil passes the position shown in the figure at the instant the current in the line reverses. Thus the armature keeps with the line current, making one revolution with each "cycle."

Рис. 447.-Схема, иллюстрирующая принцип работы синхронного двигателя. Катушка якоря переходит в положение, показанное на рисунке, в тот момент, когда ток в линии меняется на противоположный. Таким образом, якорь поддерживает ток в сети, совершая один оборот с каждым "циклом".

445. Синхронный двигатель - это двигатель, который реагирует на изменения переменного тока. Сетевой ток подается на якорь с помощью двух контактных колец и щеток. Принцип работы синхронного двигателя проиллюстрирован на рис. 447. Здесь показан двигатель с двухполюсным возбуждением. Ток якоря должен быть изменен на противоположный дважды за каждый оборот. Изменение должно происходить, когда обмотка якоря перпендикулярна силовым линиям поля. В двигателе постоянного тока этот реверс осуществляется коммутатором. В синхронном двигателе якорь достигает положения 90 градусов в тот самый момент, когда ток в линии меняется на противоположный. Таким образом, в случае двухполюсного двигателя якорь должен совершать ровно один оборот за каждый цикл; следовательно, это двигатель с постоянной частотой вращения. Такие двигатели часто используются на преобразовательных станциях, где переменный ток преобразуется в постоянный с помощью так называемых *вращающихся преобразователей*.

На практике синхронный двигатель имеет несколько пар полюсов возбуждения. По сути, это генератор переменного тока, работающий как двигатель. Одно из основных применений синхронного двигателя - это преобразователь, принимающий переменный ток и выдающий постоянный. Синхронные двигатели также используются в линиях электропередачи для поддержания постоянного напряжения.

Важные темы

Беспроводной телефон, основные части, действие, устройство.

Переменные токи, переменные поля.

Трансформаторы, соотношение напряжений катушек, потери мощности и сердечника.

Самоиндукция, индуктивность и коксовые катушки, применение.

Импеданс, реактивное сопротивление и сопротивляемость; взаимосвязь и эффекты.

Конденсаторы, их применение в цепях переменного тока.

Передача энергии переменным током; применение, преимущества.

Коэффициент мощности, задержка, опережение, вольт-амперы, истинные ватты.

Однофазные и трехфазные токи; применение и природа каждого из них.

Трехпроводные системы передачи, генераторы переменного тока, конструкция и действие.

Двигатели переменного тока, серийные, асинхронные, синхронные.

СНОСКИ:

[A] Закон - это утверждение постоянного способа поведения. Это часто выражается математическим языком.

[B] *Масса* тела - это *количество вещества в нем*, *вес* - это *притяжение земли к нему*.

[C] "Напор" - это термин, используемый для выражения вертикальной высоты воды в трубах.

[D] Положение подводной лодки в воде или под водой контролируется аналогичным образом.

[E] Под легким телом подразумевается тело малой массы, тяжелое тело, обладающее гораздо большей массой.

[F] *V* представляет скорость падающего тела в конце *t* секунд.

[G] Следующая формула помогает при вычислении *лошадиных сил* в задачах: Л.с. = (фунтов × футов)/ (550 × сек.).

[H] Считайте диаметр передней звездочки равным 6 дюймам.

[I] Лучистое тепло на самом деле является *лучистой энергией* и становится теплом, когда оно поглощается телом.

[J] Американская лига автопроизводителей.

[K] Многие ученые считают, что ток в проводнике состоит из *отрицательных электронов,* текущих в направлении, *противоположном* тому, которое описано в статье 243. Это называется *электронным током*, в отличие от *электрического тока* описанного выше.

[L] Шунт - это проводник или катушка, соединенные параллельно с другим проводником или цепью. Он несет в себе часть тока.

[M] Индуцированный ток - это ток, возникающий при изменении количества магнитных силовых линий, проходящих через катушку.

[N] Волна - это возмущение в веществе или среде, которое передается через нее.

[O] Высота звука, используемая здесь, означает *частоту вибрации*.

Примечание переписчика:
В этой книге используются B.T.U. и B.t.u., electrophorus и electrophorus, e.m.f. и E.M.F., и это оставлено так, как написано. Расстановка переносов также остается такой, как написано, например, с гальваническим покрытием. На странице 324Упражнение под номером 8 не использовалось в оригинале. Нумерация упражнений не была изменена.

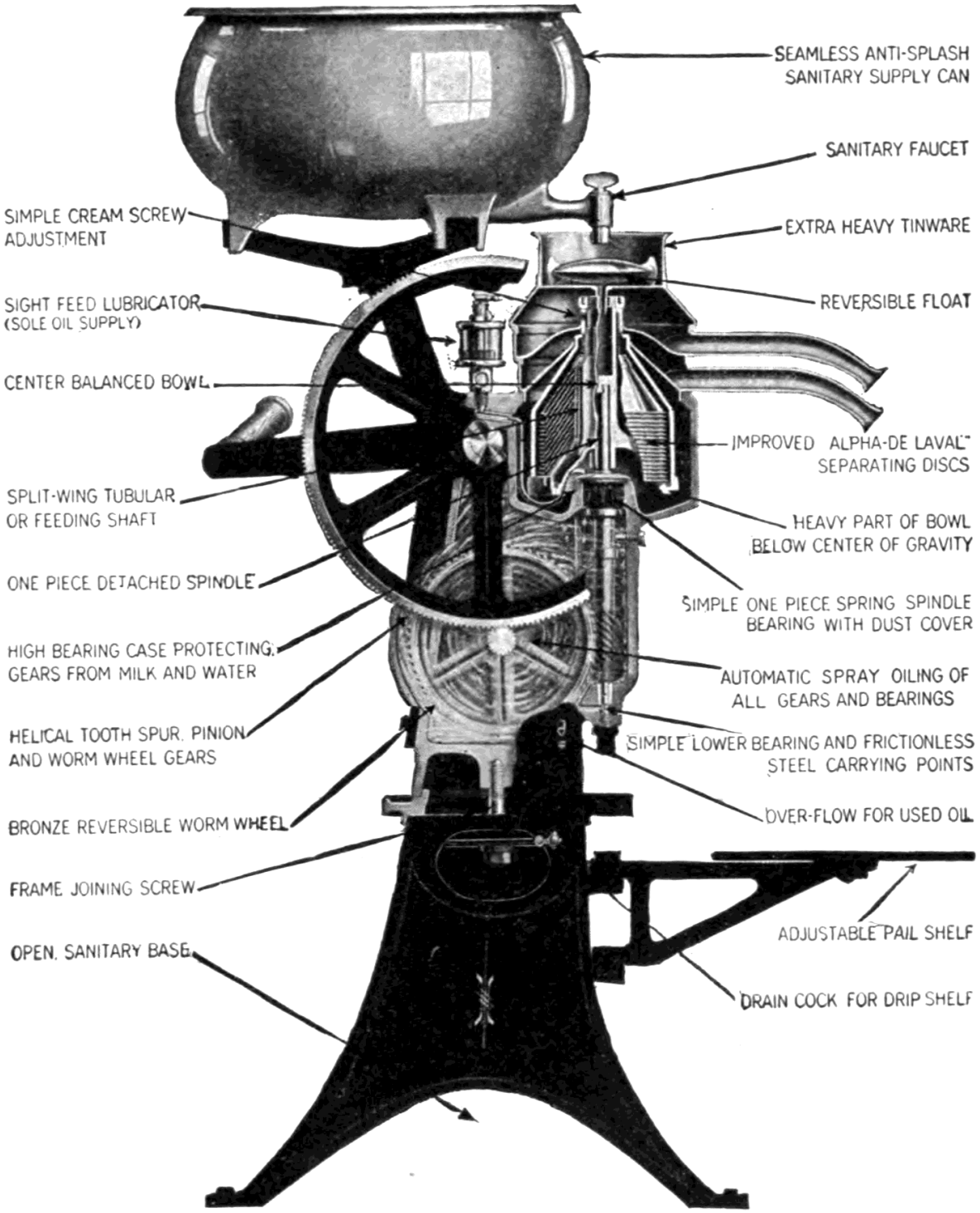


FIG. 60.—Cross-section of the DeLaval cream separator.

Назад

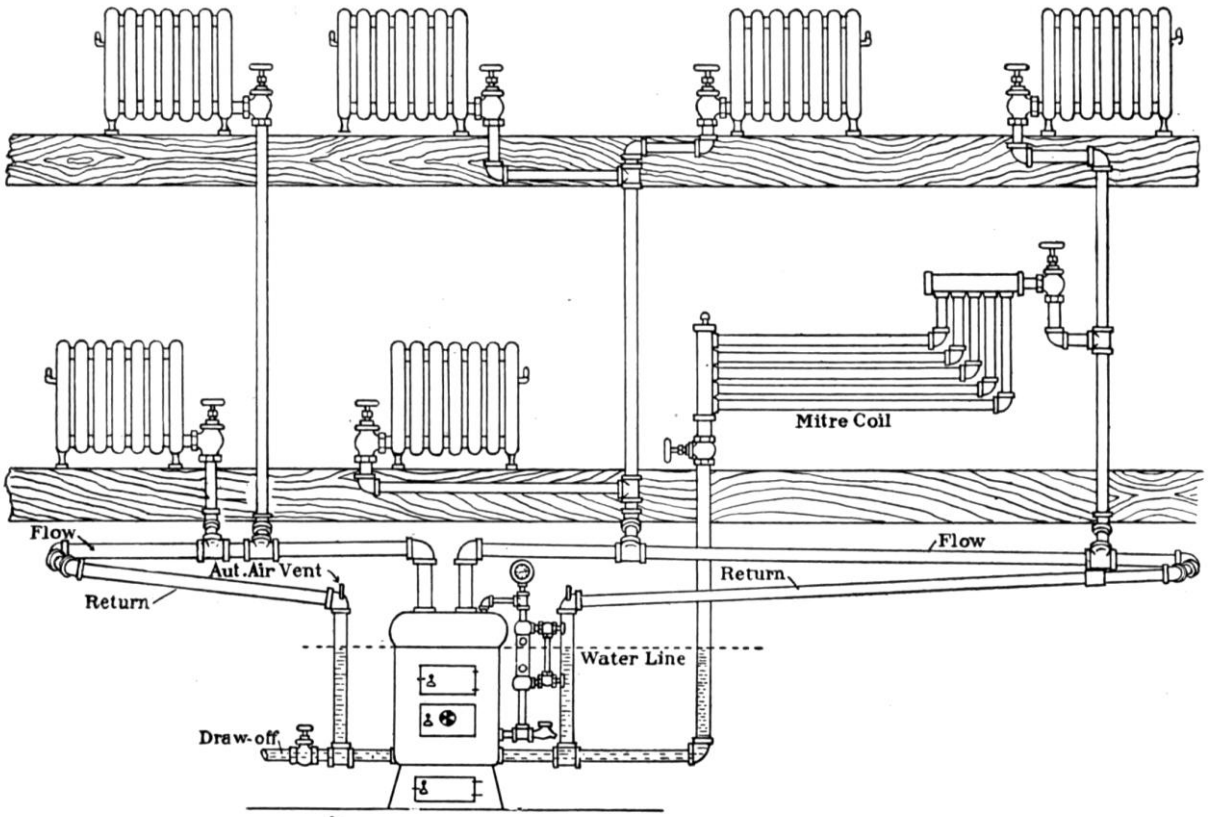


FIG. 143.—One-pipe system of steam heating.

Назад

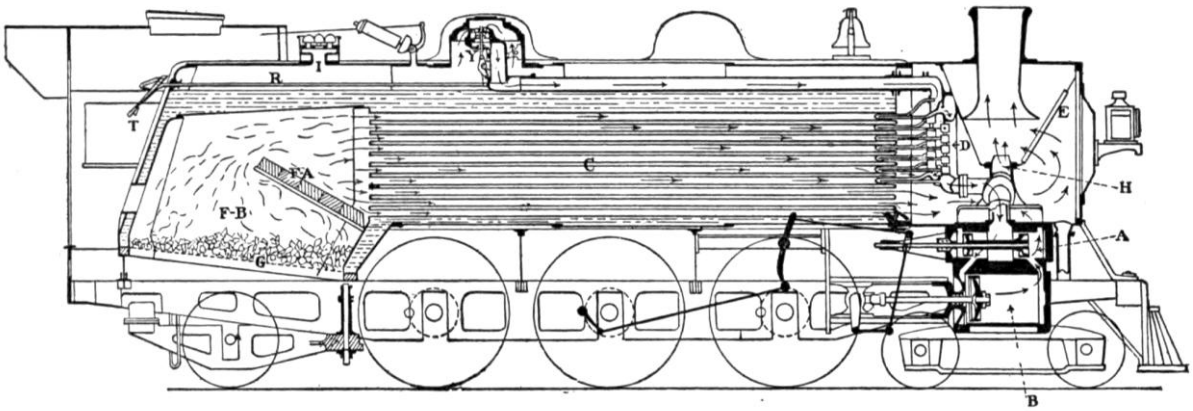


FIG. 161.—Length-section of modern, fast-passenger locomotive. *A*, cylinder valve—piston type valve; *B*, cylinder—piston at out end of stroke; *C*, boiler tubes—flues from fire-box; *D*, fire-tube type superheater; *E*, draught screen; *F–A*, fire-brick arch to protect tubes from direct heat; *F–B*, firebox; *G*, grate; *H*, exhaust nozzle; *I*, safety valve nest; *T*, throttle lever; *R*, throttle rod; *Y*, throttle valve.

Назад

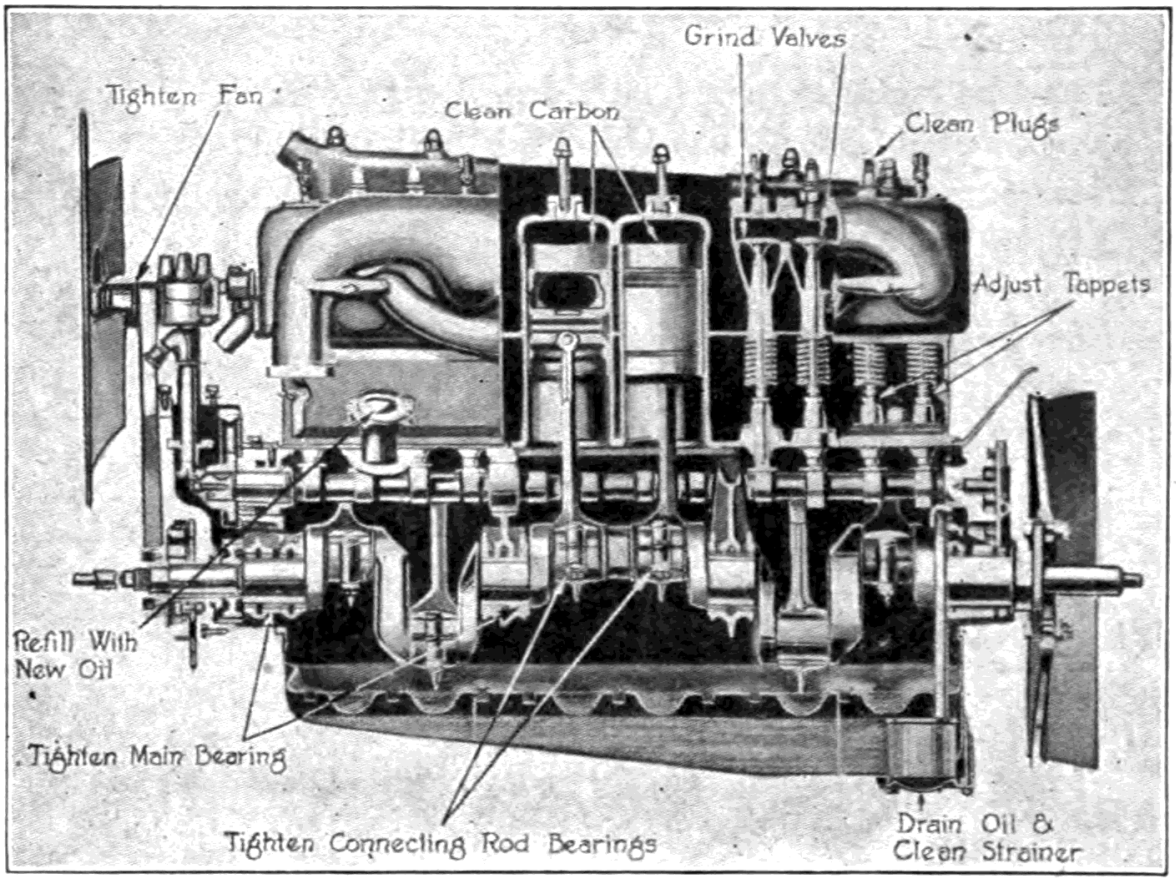


FIG. 164—Cut away view of a modern automobile engine, with parts requiring attention most frequently, indicated. (Courtesy of the "Automobile Journal.")

Назад

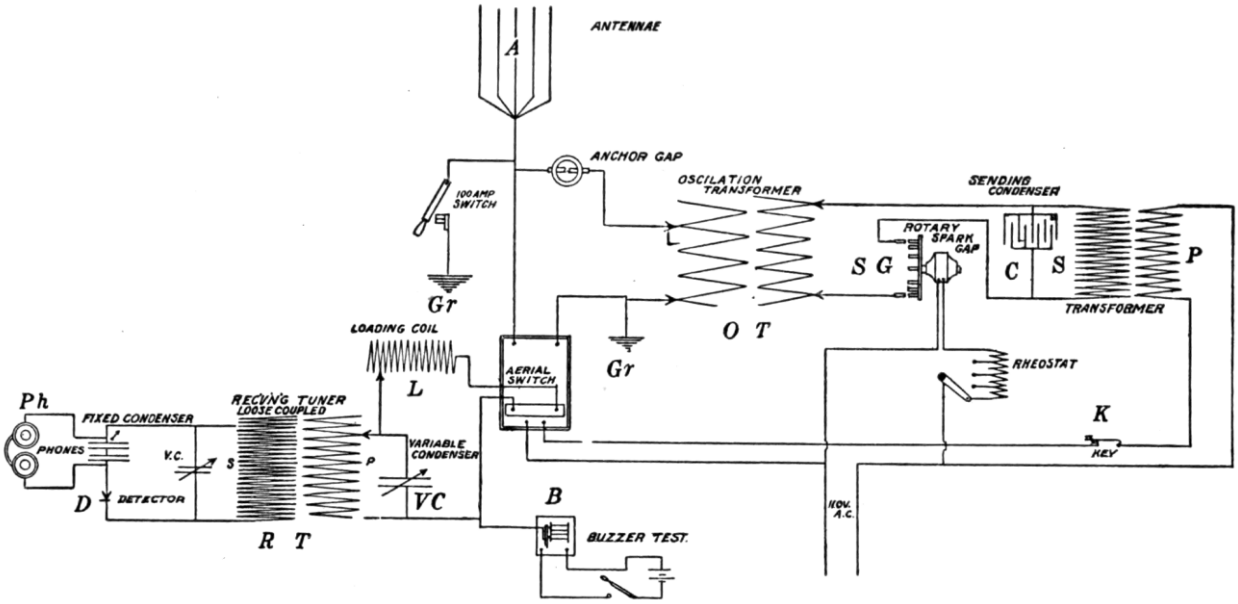


Fig. 416.—Diagram of a commercial wireless telegraph apparatus.

Назад

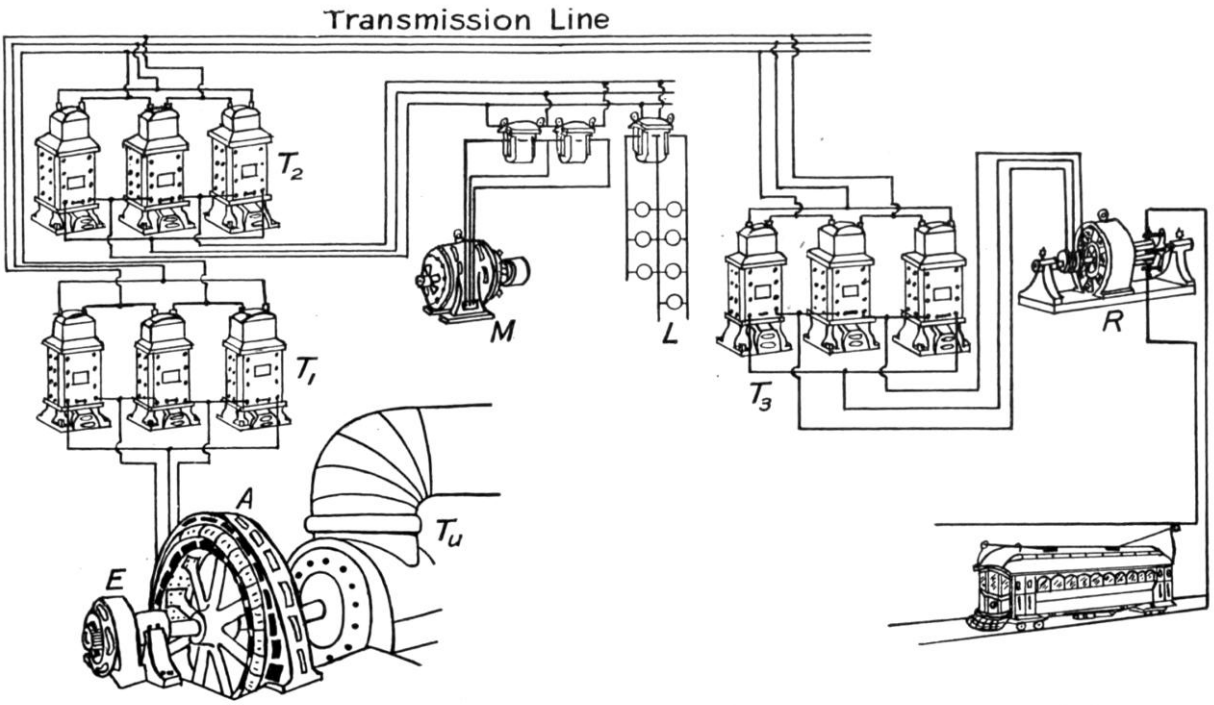


FIG. 438.—Diagram of an alternating current high tension power system. (*A*) Alternator, (*Tu*) water turbine, direct connected to alternator, (*E*) exciter, (T_1) step-up transformers in power station, (T_2) step-down transformers in substation, (*M*) motor, (*L*) lamps, single-phase, three-wire system, (T_3) step-down transformers delivering three-phase current to rotary converter (*R*) which delivers direct current to the trolley line.

Назад